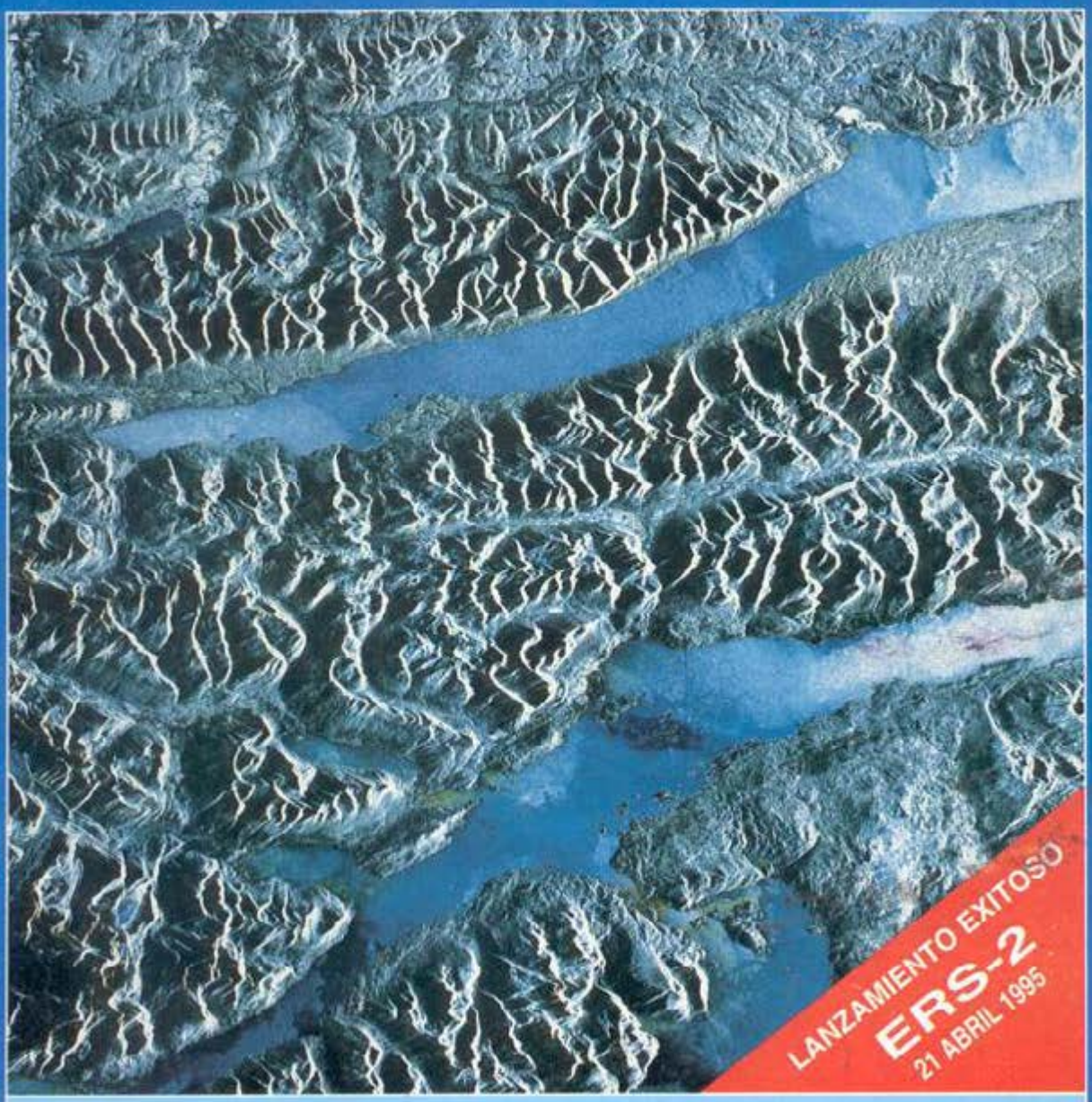
VOL. 11, Nº 1-2 PUBLICACION TRIMESTRAL SELPER MARZO - JUNIO 1995

SELPER

REVISTA TÉCNICA, DE INTEGRACIÓN IBEROAMERICANA Y MUNDIAL
REVISTA TÉCNICA, DE INTEGRAÇÃO IBERO-AMERICANA E MUNDIAL
TECHNICAL REVIEW FOR IBERO-AMERICAN AND WORLDWIDE INTEGRATION



ANTARTICA: UN CONTINENTE REVELADO

Jornadas de Trabajo ERS-1 / SPOT

USHUAIA, ARGENTINA. 27 - 31 MARZO 1995

esa
CADIC
DLR

esa
european space agency
agence spatiale européenne

8-10 rue Mario Nikis - 75738 PARIS Cedex 15 - FRANCIA.
Tel: (33.1) 42 73 76 54 - Tlx: 202746 ESA - Fax: (33.1) 42737560

Revista SELPER

SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL • SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAL • LATIN AMERICAN SOCIETY FOR REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEMS

VOL. 11 Nº 1-2 | EDICIÓN TRIMESTRAL | MAR. - JUN. 1996

FOTO PORTADA: *Composición multitemporal de sectores de imágenes LHS-1 sobre Ushuaia, Argentina (Fuente: ESA, DLR).*

FOTO CONTRAPORTADA *Afiche conmemorativo del VII Simposio Latinoamericano SELPER, Puerto Vallarta. (Fuente: Capítulo SELPER México)*

REVISTA SELPER

Director Editorial: Prof. Mauricio Araya - Figueroa

(Vice-Presidente 1980-83, Presidente SELPER 1983-86, Vice-Presidente 1986-89)

Presidente Madero 795 (Ñuñoa), Santiago, Chile. Fono: 6967583. Télex: 240501 - BOOTH CL. Fax: (56.2) 6981474

EJEMPLAR DE DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DIRECTORIO SELPER, SEDE COLOMBIA 1993 - 1995

Instituto Geografico Agustin Codazzi (IGAC). Carrera 30, Nº 48-51.
Bogotá, Colombia. Tel.: (57.1) 268.0106, Fax: (57.1) 268.0004

PRESIDENTE
Dra. MYRIAM ARDILA T.
Colombia

VICE-PRESIDENTE
Ing. WALTER DANJOY-ARIAS
Perú

PRESIDENTES HONORARIOS
Dr. Santiago Borrero M. Colombia
Dra. Gloria Cecilia Barney Colombia

VICE-PRESIDENTE
Dr. ROMAN ALVAREZ
México

SECRETARIO GENERAL
Dr. LEONARDO GONIMA
Colombia

COORDINADOR NACIONAL COLOMBIA
Dr. LUIS CARLOS MOLINA
Presidente Sociedad Colombiana de Fotogrametría y Percepción Remota

TESORERO
Gra. ANGELA ANDRADE
Colombia

RELACIONES INTERNACIONALES
Dr. ROBERTO PEREIRA DA CUNHA
Brasil
Dr. LUIS CARLOS MOLINA
Colombia

DIRECTOR EDITORIAL
Prof. MAURICIO ARAYA-FIGUEROA
Chile
Dr. LUIS G. BARTOLUCCI
EE. UU. / Bolivia

DOCENCIA E INVESTIGACION
Dr. ALVARO ESPINEL, Colombia
Dra. TANIA MARIA SAUSEN, Brasil
Dra. MARIA CRISTINA SERAFINI
Argentina

CAPITULOS NACIONALES SELPER - COORDENAÇOES NACIONAIS SELPER

CAPITULOS CONSTITUIDOS

ARGENTINA:
Dra. María Cristina Serafini, Universidad Nacional de Luján, Depto. Ciencias Básicas (PRODITEL), Rutas 5 y 7, (6.700) Luján (B). Tel.: (54.323) 21030, Fax: (54.323) 26796 / 24366.

BOLIVIA:
Dra. Sophie Moreau, Presidente ASTEMA. Casilla 14248. La Paz, Bolivia. Tel.: (591.2) 359.729 y 355.824 int. 18, Fax: (591.2) 392.307.

BRASIL:
Dra. Thelma Krugg, Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, Avda. Dos Astronautas 1758 - P. O. Box 515,(12201) São José dos Campos, SP. Tel.: (55.123) 418077; Fax: (55.123) 218743.

CHILE:
Ing. Roberto Richardson V., Tomeras 8815 (Las Condes), Santiago. Tel/Fax: (56.2) 229.7185. Universidad de Santiago, Depto. Ingeniería Geográfica. Tel/Fax: (56.2) 681.1213.

COLOMBIA:
Ing. Luis Carlos Molina, Presidente Soc. Colombiana de Fotointerpretación y Sensores Remotos (SCF). Calle 93 bis, Nº 19-50, Bogota. Tel: (57.1) 616.1335 / 36 y 214.4084, Fax: (57.1) 616.1332.

ECUADOR:
Cnel. Victor A. Medrano, Director Ejecutivo CLIRSEN. Seniergues S/N y Gral. Paz y Miño, 4º piso, Edificio IGM. Aptdo. 8216. Quito. Tel. (593-2) 549-472 y 542-700, Fax: (593-2) 581-066.

MEXICO:
Dr. Román Alvarez, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Apartado Postal 20-850, 01000, México, D.F. Tel.: (52.5) 622.4339 / 4340 / 4341, Fax: (52.5) 616.2145.

PERU:
Ing. Walter Danjoy Arias, ITD (Información, Tecnología y Desarrollo), Libertad Nº 497, Of. 301 (Miraflores). Lima 18, Perú. Tel.: (51.14) 466.097, Fax: (51.14) 454.121 y 440.860.

URUGUAY:
Cnel. Washington Odella, Director Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales, Fuerza Aérea. Brigada Aérea 1, Ruta 101 km. 19. Carrasco - Canelones. Tel.: (598) 600.257 y 611.701 int. 3771, Fax: (598) 616.910.

VENEZUELA:
Ing. Gustavo Ruiz, Jefe Centro Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI), Instituto de Ingeniería. Apartado 40.200, Caracas 1040 A. Tel.: 962-1124, Fax: 962-1005.

CAPITULOS EN FORMACION

COSTA RICA:
M. Sc. Carlos L. Elizondo, Instituto Geográfico Nacional, Apdo. Postal 2272, 1000 San José de Costa Rica. Telef: (506) 272126, ext. 26. Télex: 2493 MOPT.

CUBA:
Ing. Cloy Pérez-García c/o Ing. Lucas Fernández-Reyes, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Loma y 39, Nuevo Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba. Tel.: 3-9966 ext. 69; Fax: (53.7) 625.604/5.

EL SALVADOR:
Ing. Jorge García Escobar, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Rep. Los Rosales Pje. 2 Nº 14-C San Salvador, El Salvador.

GUATEMALA:
Ing. Carlos Lemmerhoffer A., Supervisor Técnico, Instituto Geográfico Nacional (IGN). 23 Avenida 31-60, Zona 12. Guatemala 01012. Telef. (502-2) 764071. FAX. (502-2) 343412.

JAMAICA:
Ing. Christian Wolffe, College of Arts, Science and Technology, 237 Old Hope Road, Kingston 6, Jamaica. Tel.: (809) 92-716809, Fax: (809) 92-71005.

PANAMA
Aura Beatriz Reina Lewis, Dirección General de Recursos Minerales. Apdo. 6-5213 El Dorado, Panamá. Tel.: (507) 36-1623/36-1826.

PARAGUAY:
Ing. Facundo S. Recalde Ramos, Servicio Forestal Nacional. Tacuari entre 25 de Mayo y Cerro Corá. Edificio Patria 4, 6º piso. Asunción, Paraguay. Tel.: 493793 (Oficina).

REP. DOMINICANA:
Ing. Orlando Adams I., Instituto Geográfico Universitario. Calle El Vergel 57. Santo Domingo, Rep. Dominicana. Telef: 5672823.

CAPITULOS ESPECIALES

ALEMANIA:
Dr. Klaus Reiniger, Deutsche Forschungsanstalt Für Luft-Und Raumfahrt (DLR). D-8031 Oberpfaffenhofen, Deutschland. Tel.: (08153) 28697, Telex: (08153) 281343, Tlx: 5270287 dadl d.

CANADA:
Dr. Fritz P. Dubois, 25 Midland CRS, Nepean ONTARIO K H2 - 8N2. Telef: (613) 596-4164. FAX: (613) 723-9626. Canadá.

ESPAÑA:
Dr. José L. Labrandero, Presidente de la Asociación Española de Teledetección (AET). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Pinar 25. Madrid 28006. España. Tel: (91) 411.10.99 y 261.53.08, Fax: (91) 562.55.67.

USA:
Dr. Luis Bartolucci, Mid. America Remote Sensing Center (MARC). Murray State University, Murray, Kentucky 42071, U.S.A. Telef: (502) 762-2591-2085. FAX: (502) 762-4417.

FRANCIA:
Dr. Jean-Luc Devynck, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). Chef Dpt. Coopération et Développement. 2, Place Maurice Quentin, 75039 Paris Cedex 01. Francia. Télex: 214674 F CNESP. Teléfono: 45087568. FAX: (1) 45087773.

HOLANDA:
Prof. Dr. Ir K. J. Beek, Rector ITC.
Dr. Carlos Valenzuela, ITC, 350 Boulevard 1945, P.O.X. 6, 7500 AA Enschede, Holanda. Tel.: (31) 53.874.214, Fax: (31) 53.874.200.

PORTUGAL,
Actualmente en formación.

KENIA,
GANA,
NIGERIA,
ETIOPIA:
Actualmente en formación, a través del Capítulo SELPER Brasil (INPE).

COMITE EDITORIAL

DIRECCION EDITORIAL

DIRECTOR EDITORIAL
Prof. Mauricio Araya F. (Chile)
Presidente SELPER (1983-86)

Subdirección Editorial
Ing. Jorge Tapia C. (Chile)
Dr. Roberto Pereira Da Cunha (Brasil)

Subdirección Científica
Dr. Luis A. Bartolucci (EE. UU. / Bolivia)
Dr. Paulo Roberto Martini (Brasil)
Dr. Jorge Lira (México)
Prof. Marcelo Campi (Argentina)
Dr. Leonardo Gómina (Colombia)

COMITE PUBLICACIONES
(SELPER-CHILE)

Editor Técnico
Sr. Hernán Figueroa R.
Arte y Dibujo
Sr. Roberto Piña O.
Traducción e Interpretación
Prof. Mauricio Araya F.
Srta. Adriana Vidaurre O.
Diagramación Electrónica
Sr. A. Freddy Riquelme R.
Secretaria/Digitadora
Srta. Rosy Arce R.

COMITE DE EXPERTOS

ARGENTINA
Ing. Miguel Sánchez-Peña
Presidente SELPER (1989-91)
Ing. Marcelo Campi
SVDGA

BRASIL
Dr. Roberto Pereira Da Cunha
INPE - Presidente SELPER (1986-89)
Ing. Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque
Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)

CANADA
Ing. Fritz P. Dubois
DATACAP/CIDA

COLOMBIA
Ing. Luis Carlos Molina
Ing. Myriam Ardila
Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IGAC (ex CIAF), SCFR

CHILE
Dr. Patricio Acevedo (U. La Frontera)
Geog. Fco. Javier Guerra (MOP/PUC)

ECUADOR
Ing. Víctor Medrano
Director Ejecutivo
CLIRSEN
Ing. Patricio Toledo
Ing. Alberto Segovia Ch.
Presidente SELPER (1980-83)

EE.UU.
Dr. Luis Bartolucci
Murray State University (MARG)

MEXICO
Dr. Jorge Lira
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ing. Alfonso Zarco (INEGI)

PERU
Ing. Walter Danjoy Arias
ONERN - Presidente SELPER (1991-93)
Ing. Oscar Sakay H. (APAFA)

VENEZUELA
Ing. Gustavo Ruiz (CPDI)
Geog. Francisco Guerra (CPDI)

INDICE TEMATICO

Pág

PRESENTACION 4

ANTECEDENTES DEL SIMPOSIO ANTARTICA: UN CONTINENTE REVELADO 5

SECCION ARTICULOS TECNICOS Y CIENTIFICOS

- ESTADO Y PERSPECTIVAS DE LAS MISIONES ERS
  Maurizio Fea (Agencia Espacial Europea, ESA) 10
- SEGMENTO TERRESTRE PARA LA MISION ERS EN LA ANTARTICA: PASADO, PRESENTE Y FUTURO. Klauss Heinger (DLR, Alemania) 17
- APLICACION DE LA INTERFEROMETRIA A LA GEOCORRECCION DE IMAGENES SAR/ DEL SATELITE ERS-1. Roman Arbiol, Manuel Castillo, Carlos Franquesa y Vicenç Palà (España) 23
- ASPECTOS DE INTERES PARA LA NAVEGACION ANTARTICA INTERPRETADOS A PARTIR DE IMAGENES SAR / ERS-1
  Harald Mehl (Alemania), Héctor Salgado (Argentina) 29
- INTERPRETACION PRELIMINAR DEL SISTEMA DE FRACTURAS DEL ESTE DE TIERRA DEL FUEGO BASADA EN IMAGENES ERS-1. Eduardo B. Olivero, Eduardo C. Malagnino y Domingo A. Gagliardini (Argentina) 34
- INVESTIGACIONES COMPARATIVAS DE SENSIBILIDAD CLIMATICA Y DINAMICA DE GLACIARES EN ANTARTIDA, PATAGONIA Y LOS ALPES. Pedro Skvarca (Argentina), Helmut Rott (Austria), Heinz Miller (Alemania) 40
- RECENT CHANGES OF LARSEN ICE SHELF, ANTARCTIC PENINSULA, UNVEILED BY ERS-1. Helmut Rott (Austria), Pedro Skvarca (Argentina) and Thomas Nagler (Austria) 46
- DRASTIC RETREAT OF UPSALA GLACIER, SOUTHERN PATAGONIA, REVEALED BY ERS-1/SAR IMAGES AND FIELD SURVEY. Pedro Skvarca (Argentina), Helmut Rott (Austria) and Thomas Nagler (Austria) 51
- INVESTIGATIONS OF KING GEORGE ISLAND ICE COVER USING ERS-1/SAR AND SPOT IMAGERY. Jefferson C. Simões and Ulisses F. Bremer (Brasil) 56
- RELACION DE TRABAJOS NO PUBLICADOS 61
- UTILIZACION DE IMAGENES SATELITALES ERS - 1 Y FOTOGRAFIAS AEREAS DIGITALES PARA LA ELABORACION DE PRODUCTOS CARTOGRAFICOS DE LA ZONA ANTARTICA
  Carlos Rivera Monares y Viviana Barrientos Lardinois (Chile) 62
- INVESTIGACION DE LA DINAMICA DE LA CAPA DE NIEVE DE KING GEORGE ISLAND Y DE UNA REGION COSTERA DE MARGUERITE BAY (ANTARTICA) POR MEDIO DE IMAGENES SPOT Y ERS-1. S. Wunderle y H. Gossmann (Alemania) 65
- GEOLOGICAL FEATURES OF MARAMBIO (SEYMOUR) ISLAND, ANTARCTIC PENINSULA, DETECTED BY ERS-1 / SAR. S. A. Marenssi (Argentina), H. Rott (Austria) y P. Skvarca (Argentina) 72
- ERS - 1 / SAR DATA FOR THE ANALYSIS OF GLACIOLOGICAL FEATURES ON FILCHNER-RONNE-SCHELFEIS, ANTARCTICA. Monika Jonas (Alemania) 77
- REDUCCION DEL SPECKLE EN LAS IMAGENES SAR DEL ERS-1 EN LA REGION ANTARTICA.
  Laura A. Frulla, J. A. Milovich, D. A. Gagliardini (Argentina) 82
- DETERMINACION DEL AMBIENTE PERIGLACIAL EN LA COSTA SUR DE LA ISLA REY JORGE, MEDIANTE COMPARACION ESTACIONAL DE IMAGENES ERS-1
  Belisario Andrade J. y Patricia Vicuña V. (Chile) 88
- USO DE IMAGENES ERS-1/SAR PARA LA CARACTERIZACION DE HIELOS FLOTANTES
  H. Salgado, M. H. Picasso, L. A. Frulla y D. A. Gagliardini (Argentina) 93
- CONTROL DE RECURSOS AGUA / NIEVE Y PREVENCION DE DESASTRES EMPLEANDO DATOS ERS. Mauricio Araya F. (Chile) 99
- DETECCION DE CAMBIOS EN LA ISLA MARAMBIO MEDIANTE IMAGENES SAR / ERS-1
  Mirta Raed, Laura Frulla y D. A. Gagliardini (Argentina) 106

NOTICIAS IMPORTANTES Y PATROCINIO IBEROAMERICANO E INTERNACIONAL 112

• ESA, European Space Agency (Europa) • CNES, Centre National d'Etudes Spatiales (Francia) • DLR, Deutsche Forschungsanstalt Für Luft-Und Raumfahrt (Alemania) • IGM, Instituto Geográfico Militar (Chile) • ITC, International Technological Institute (Holanda) • INTERA (Canadá) • MDA, McDonald Dettwiler Associates (Canadá) • INTERGRAPH (EE.UU.) • PS, International Imaging Systems (EE. UU.) • ASHTECH (EE. UU.) • Empresa Constructora del Choapa (Chile) • PCI/RADARSAT (Canadá).

Fotocomposición: G.C.A. PUBLICIDAD LTDA.
Catedral 1053, Local 1053. - Fono/Fax: 6994861, Santiago, Chile
Separación de Colores: MACHADO,
Rafael Prado 403 - Fono 2740530 - Fax. 2254133. Santiago, Chile
Impreso en los Talleres Gráficos de IMPRENTA SEMINARIO LTDA.
Pedro Lagos 557. Santiago, Chile
Tel/Fax: (56.2) 555.1466 y 551.8404

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA — PROHIBIDA SU VENTA

PRESIDENTE SELPER

Dra. Myriam Ardila T.
Presidente SELPER 1994 - 1995

Por encontrarse participando en la XVII Conferencia Internacional de Cartografía y X Asamblea General de la Asociación Internacional de Cartografía (ICA), en Barcelona no fue posible contar con un saludo escrito de la actual Presidenta de SELPER. Sin embargo, telefónicamente, la Dra. Myriam Ardila expresó sus felicitaciones y reconocimientos a los organizadores y patrocinadores de este Congreso Antártico, deseando también que esta Edición Especial de la Revista SELPER sea de utilidad para difundir más ampliamente tan interesantes investigaciones. En las próximas publicaciones de SELPER se presentará información sobre la Conferencia ICA.

PARTICIPANTES DESTACADOS EN EL SIMPOSIO ANTÁRTICO ERS-1.

SESION INAUGURAL, foto superior de izq. a der.: Dr. Pedro Skvarca (Argentina), Dr. Klauss Reiniger (DLR, Alemania), Dr. Eduardo Olivero (CADIC, Argentina), Dr. Maurizio Fea (ESA).

Foto inferior, de izq. a der.: Dra. Valerie Hood (ESA), Dr. Juan Eduardo Lira (Universidad Católica de Chile), Dra. Patricia Vicuña (Instituto Antártico Chileno), Dr. Harald Mehl (Alemania), Dr. Philipp Hartl (Alemania).

NOTA DEL EDITOR

Prof. Mauricio Araya-Figueroa
Presidente SELPER 1983 - 1986

Este importante esfuerzo editorial SELPER ha sido posible gracias al valioso patrocinio de la Agencia Espacial Europea (ESA) y el Establecimiento Aeroespacial Alemán (DLR). Agradecemos en forma especial a la Dra. Valerie Hood (Relaciones Internacionales, ESA) y también al Dr. Klauss Reiniger (DLR), al Dr. Maurizio Fea (ESA/ESHIN) y al Dr. Harald Mehl (Alemania), por su valioso apoyo. También nuestros sinceros reconocimientos al CADIC (Argentina), al Instituto Geográfico Militar de Chile y al Comité Editorial SELPER.

Finalmente, agradecemos a la Sede Central SELPER Colombia por su permanente y valioso apoyo durante este período, en particular a la Dra. Myriam Ardila (Presidente SELPER y Subdirectora Cartografía IGAC), Dr. Carlos Molina (Presidente Sociedad Colombiana de Fotogrametría y Percepción Remota), Dr. Leonardo Gónima (Secretario General SELPER), Dra. Gloria Cecilia Barney (ex Presidenta SELPER y ex Directora IGAC) y al Dr. Santiago Borrero M., actual Director del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) de Colombia.

Vayan también nuestros reconocimientos a todos los autores por el gran esfuerzo de enviar a tiempo estos trabajos y por la calidad de sus investigaciones. Es para SELPER un orgullo presentar a la Comunidad Internacional los principales resultados de este II Simposio Antártico, llamado justamente "Antártica: Un Continente Revelado", dada la gran potencialidad de los datos satelitales actualmente disponibles para el estudio de zonas aisladas del planeta.

ANTARTICA: UN CONTINENTE REVELADO

Jornadas de Trabajo ERS-1 / SPOT

USHUAIA, ARGENTINA. 27 - 31 MARZO 1995

esa european space agency — CADIC — DLR

Lunes, 27 de Marzo de 1995			Monday, 27 March 1995		
10:00	Presentaciones - DLR - CADIC - ESA	 K. Reiniger E. Olivero M. Fea	10:00	Opening presentations - DLR - CADIC - ESA	 K. Reiniger E. Olivero M. Fea
10:45	Pausa café		10:45	Coffee break	
11:15	La situación actual de la misión ERS-1 y planificación de la misión ERS-2	M. Fea	11:15	The status of ERS-1 mission and plans for ERS-2	M. Fea
12:00	Reducción del -speckle- en las imágenes SAR del ERS-1 en la región Antártica	L. Frulla J. Milovich D. A. Gagliardini	12:00	Speckle reduction in ERS-1/SAR images over Antarctica regions	L. Frulla J. Milovich D. A. Gagliardini
12:30	Almuerzo		12:30	Lunch	
14:00	**SESION 1 - OCEANOGRAFIA**		14:00	**SESSION 1 - OCEANOGRAPHY**	
14:00	Características oceanográficas y hielos marinos alrededor de la isla King George observados en imágenes SAR del ERS-1	M. Cáceres	14:00	Oceanographic features and marine ice observed in SAR images from ERS-1 round King George Island	M. Cáceres
14:45	Uso de las imágenes SAR/ERS-1 para caracterizar el hielo marino durante la Campaña Antártica	H. Salgado M. Picasso L. Frulla D. A. Gagliardini	14:45	Use of ERS-1/SAR imagery to characterise marine ice during the Antarctic Campaign	H. Salgado M. Picasso L. Frulla D. A. Gagliardini
15:30	Pausa café		15:30	Coffee break	
16:00	La circulación marina superficial de Mesoescala en el Estrecho de Bransfield (Antártica) durante el Verano Austral: una aplicación combinada de técnicas de teledetección y medidas de campo	J. Figa	16:00	The Mesoscale sea surface circulation in the Bransfield Strait (Antarctica) during Austral Summer: a combined application of on site and remote sensing techniques	J. Figa
17:00	**SESION 2 - CARTOGRAFIA**		17:00	**SESSION 2 - CARTOGRAPHY**	
17:00	El uso de imágenes SPOT X2 en los mapas glaciológicos	M. Frezzotti	17:00	The use of SPOT X2 imagery for glaciological maps	M. Frezzotti
19:00	Cóctel		19:00	Cocktail	
Martes, 28 de Marzo de 1995			**Tuesday, 28 March 1995**		
10:00	**SESION 3 - GEOLOGIA**		10:00	**SESSION 3 - GEOLOGY**	
10:00	El proyecto OEA y las actividades alemanas de teledetección en la Patagonia y la Antártica	H. Gossmann	10:00	The German OEA Project: remote sensing activities in Patagonia and Antarctica	H. Gossmann
10:45	Pausa café		10:45	Coffee break	
11:15	Interpretación del sistema de fracturas principales en la parte Este de la Tierra del Fuego a partir de imágenes ERS-1	E. Malaignino E. Olivero D. A. Gagliardini	11:15	Interpretation of the main fracture system of Eastern Tierra del Fuego based on ERS-1 images	E. Malaignino E. Olivero D. A. Gagliardini
12:00	Características geologicas de Marambio (Isla Seymour, Península Antártica) detectadas por el SAR del ERS-1	H. Rott P. Skvarca S. Marenssi	12:00	Geological features of Marambio (Seymour Island, Antarctic Peninsula) detected by ERS-1/SAR	H. Rott P. Skvarca S. Marenssi
12:45	Almuerzo		12:45	Lunch	
14:00	**SESION 4 - GEOMORFOLOGIA**		14:00	**SESSION 4 - GEOMORPHOLOGY**	
14:00	Detección de cambios en la isla Marambio usando imágenes SAR del ERS-1	M. Raed L. Frulla D. A. Gagliardini	14:00	Detection of changes in Marambio island using ERS-1/SAR imagery	M. Raed L. Frulla D. A. Gagliardini
15:00	Pausa café		15:00	Coffee break	
15:30	Determinación del medio ambiente periglacial en la Costa Sur de la Isla King George comparando imágenes del ERS-1 de diferentes estaciones	B. Andrade P. Vicuña	15:30	Determination of the periglacial environment on the South Coast of King George Island comparing seasonal images of ERS-1	B. Andrade P. Vicuña
16:30	Video Crystal Voyager Video Viajero de Cristal		16:30	Video Crystal Voyager	

Miércoles, 29 de Marzo 1995			Wednesday, 29 March 1995		
10:00	SESION 5 - GLACIOLOGIA/HIELO/NIEVE		10:00	SESSION 5 - GLACIOLOGY/ICE/SNOW	
10:00	Evaluación de cambios en la Antártica mediante el altímetro radar del ERS-1	D. Wingham	10:00	Evaluation of changes in Antarctica with ERS-1 radar altimetry	D. Wingham
11:00	Pausa café		11:00	Coffee break	
11:30	Investigación del casquete de hielo de la Isla King George usando imágenes SAR del ERS-1	J. C. Simões	11:30	Investigation of the King George ice cap using ERS-1 SAR imagery	J. C. Simões
12:30	Almuerzo		12:30	Lunch	
14:00	Proyecto investigaciones comparativas de sensibilidad climática y dinámica de glaciares en Antártica, Patagonia y los Alpes	P. Skvarca H. Rott H. Miller	14:00	Comparative studies of climate sensitivity and glacier dynamics in Antarctica, Patagonia and the Alps	P. Skvarca H. Rott H. Miller
15:00	Pausa café		15:00	Coffee break	
15:30	Características superficiales del hielo Patagónico observadas en las imágenes SAR del ERS-1	G. Casassa M. Cáceres	15:30	Superficial features of Patagonian ice observed in ERS-1/SAR imagery	G. Casassa M. Cáceres
16:15	Utilización de productos integrados, fotografía aérea e imágenes de radar ERS-1 como herramienta cartográfica para los estudios integrados	C. Rivera	16:15	Use of combined aerial photographs and ERS-1 radar imagery as a cartographic tool for studies	C. Rivera
17:00	Nieve, hielo y dinámica periglacial en las bases Argentinas Jubany (Isla King George) y San Martin (Bahía Margarita)	H. Gossmann	17:00	Snow, ice and periglacial dynamics in the Argentinian bases Jubany (King George Island) and San Martin (Marguerite Bay)	H. Gossmann
17:45	Control de los recursos de nieve/agua y prevención de desastres naturales	M. Araya	17:45	Snow-water resources and natural disasters prevention	M. Araya
Jueves, 30 de marzo de 1995			**Thursday, 30 March 1995**		
10:00	SESION 5 (Cont.)		10:00	SESSION 5 (Contd.)	
10:00	Morfometría de las fluctuaciones del casquete polar de las islas Shetland del Sur	J. Corbera J. Calvet	10:00	Morphometry of ice cap fluctuations on the South Shetland Islands	J. Corbera J. Calvet
11:00	Pausa café		11:00	Coffee break	
11:30	Imágenes SAR de la cobertura de hielo Antártica: una herramienta glaciológica y logística	D. Vaughan	11:30	ERS-1/SAR on the Antarctic ice sheet: A glaciological and logistical tool	D. Vaughan
12:30	Almuerzo		12:30	Lunch	
14:00	El dramático retroceso del glaciar Upsala revelado por las imágenes SAR y el trabajo de campo	P. Skvarca H. Rott T. Nagler	14:00	Dramatic retreat of the Upsala glacier, Southern Patagonia revealed by SAR imagery and field survey	P. Skvarca H. Rott T. Nagler
14:45	Dinámica estacional de la línea de nieve utilizando imágenes ERS, SPOT y LANDSAT	J. Corbera J. Calvet	14:45	Seasonal dynamics of the snow-line using ERS, SPOT and LANDSAT imagery	J. Corbera J. Calvet
15:30	Pausa café		15:30	Coffee break	
16:00	Cambios recientes en la cubierta de hielo de Larsen, en la Península Antártica, mostrados por el SAR del ERS-1	H. Rott P. Skvarca T. Nagler	16:00	Recent changes of the Larsen Ice Shelf Antarctic Peninsula unveiled by ERS-1/SAR	H. Rott P. Skvarca T. Nagler
16:45	Datos SAR del ERS-1 para el análisis de las características glaciológicas en Filchner-Ronne-Schelfeis en la Antártica	M. Jonas J. Sievers	16:45	ERS-1 SAR data for the analysis of glaciological features on Filchner-Ronne-Schelfeis Antarctica	M. Jonas J. Sievers
17:30	Imágen multitemporal de la Isla King George	E. Olivares (C. Pattillo)	17:30	Multitemporal image of King George Island	E. Olivares (C. Pattillo)
Viernes, 31 de Marzo de 1995			**Friday, 31 March 1995**		
10:00	SESION 6 - INTERFEROMETRIA		10:00	SESSION 6 - INTERFEROMETRY	
10:00	Estado actual de las técnicas interferométricas con las imágenes SAR del ERS-1	S. Coulson	10:00	Current states of SAR interferometry with ERS-1	S. Coulson
11:00	Pausa café		11:00	Coffee break	
11:30	Aplicación de la interferometría a la corrección geométrica de imágenes SAR del ERS 1	R. Arbiol	11:30	Application of interferometry to the geo-correction of SAR images	R. Arbiol
12:30	Almuerzo		12:30	Lunch	
14:00	Características básicas de la interferometría SAR y sus posibles aplicaciones	P. Hartl	14:00	SAR interferometry basic features and possible applications	P. Hartl
15:00	Coloquio		15:00	Discussion	
20:30	Cóctel y Cena de Clausura		20:30	Cocktail and Closing Dinner	

AUTORES Y CO-AUTORES EN ORDEN DE APARICION EN EL PROGRAMA

Klaus REINIGER
DLR
D-8031 Oberpfaffenhofen
Tel: 49 8153 281 189
Fax: 49 8153 281 443
GERMANY

Eduardo B. OLIVERO
Director
Centro Austral de Investigaciones Cientificas (CADIC)
Tel: 54 901 22 310
Fax: 54 901 30 644
Ushuaia, T. F. ARGENTINA

Valerie HOOD
International Affairs
European Space Agency
8-10, rue Mario-Nikis
75738, Paris, Cedex 15
Tel: 33 1 53 69 74 43
Fax: 33 1 53 69 76 27
FRANCE

Maurizio FEA
Earth Observation Promotion
ESRIN
Via Galileo Galilei
Casella Postale 64
00044 Frascati, ITALY
Tel: 39 6 9418 01
Fax: 39 6 9418 03 81

Laura A. FRULLA
Centro Argentino de Estudios de Radio-Comunicaciones y Compatibilidad Electromagnética
(CAERCEM-CONICET)
Julián Alvarez 1218
1414 Buenos Aires, ARGENTINA
Tel: 541 772 1471
Fax: 541 772 0410

Jorge MILOVICH
Centro Argentino de Estudios de Radio-Comunicaciones y Compatibilidad Electromagnética
(CAERCEM-CONICET)
Julián Alvarez 1218
1414 Buenos Aires, ARGENTINA
Tel: 541 772 1471
Fax: 541 776 0410

Mario CACERES
Executive Secretary
Comité Oceanográfico Nacional
Erdazuaiz 232
Playa Ancha, Casilla 528
Tel: 56 32 282 697
Fax: 56 32 283 657
Valparaiso, CHILE

H. SALGADO
Servicio de Hidrografía Naval
Departamento de Meteorología
Comodoro Pi 2055, Piso 15
(1104) Buenos Aires, ARGENTINA
Fax: 541 311 2459

M. H. PICASSO
Servicio de Hidrografía Naval
Departamento de Meteorología
Comodoro Pi 2055, Piso 15
(1104) Buenos Aires
Fax: 541 311 2459
ARGENTINA

Domingo A. GAGLIARDINI
Centro Argentino de Estudios de Radio-Comunicaciones y Compatibilidad Electromagnética
(CAERCEM-CONICET)
Julián Alvarez 1218
1414 Buenos Aires
Tel: 541 772 1471
Fax: 541 772 0410
ARGENTINA

Julià FIGA
Laboratorio d'Enginyeria Maritima (LIM)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
Tel: 34 3 401 6468
Fax: 34 3 401 7357
Barcelona
SPAIN

Massimo FREZZOTTI
Geologist
ENEA
C. R. E. Casaccia
P.O. Box 2400D
00100 Roma A.D.
Tel: 39 6 304 83 271
Fax: 39 6 304 86 487
ITALY

Hermann GOSSMANN
Institut für Physische Geographie
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Werderring 4
79085 Freiburg I Br. den
Tel: 49 761 203 3526
Fax: 49 761 203 3596
GERMANY

E. MALALGNINO
Centro Argentino de Estudios de Radio-Comunicaciones y Compatibilidad Electromagnética
(CAERCEM-CONICET)
Julián Alvarez 1218
1414 Buenos Aires
Tel: 541 772 1471
Fax: 541 772 0410
ARGENTINA

Helmut ROTT
Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck
Innrain 52
A-6020 Innsbruck
Tel: 43 512 507 5451
Fax: 43 512 507 2924
AUSTRIA

Pedro SKVARCA
Glaciology Division
Instituto Antártico Argentino
Cerrito 1248
1010 Buenos Aires
Tel: 541 812 1689
Fax: 541 812 2039
ARGENTINA

Sergio MARENSSI
Glaciology Division
Instituto Antártico Argentino
Cerrito 1248
1010 Buenos Aires
Tel: 541 812 1689
Fax: 541 812 2039
ARGENTINA

Mina RAED
Universidad de Luján - PRODITEL
Departamento de Ciencias Básicas
Ruta 5 y 7
(6700) Luján, ARGENTINA
Fax: 54 323 239 75

Luis Belisario ANDRADE JOHNSON
Programa de Percepción Remota
Pontificia Universidad Católica de Chile
Av. Vicuña Mackenna 4860
Tel: 56 2 552 23 75
Fax: 56 2 552 60 05
Santiago, CHILE

Patricia VICUÑA V.
Instituto Antártico Chileno
Luis Thayer Ojeda 814
Tel: 56 2 2322 617
Fax: 56 2 2320 440
Santiago, CHILE

Duncan WINGHAM
Department of Space and Climate Physics Mullard Space Science Lab.
University College London
Holmbury St. Mary
Dorking, Surrey, RH5 6NT
Tel: 44 483 274 111
Fax: 44 483 278 312
U.K.

Jefferson C. SIMÕES
Laboratorio de Pesquisas Antárticas e Glaciológicas
Inst. Geociencias
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves 9500
91501-970 Porto Alegre, RS
Fax: 55 51 336 17 62
BRAZIL

Heinz MILLER
Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research
Columbusstrasse
D-27568 Bremerhaven
Tel: 49 471 483 10
Fax: 49 471 483 11 49
GERMANY

Gino CASASSA ROGAZINSKI
Director Centro Austral Antártico
Universidad de Magallanes
Fax: 56 61 21 92 76
Punta Arenas
CHILE

Carlos Patricio RIVERA MENARES
Servicio Aerofotogramétrico (SAF)
Fuerza Aérea de Chile
Estado Mayor General
Dirección de Operaciones
CHILE

Mauricio Ricardo ARAYA FIGUEROA
Director Editorial SELPER
Presidente Madero 785 (Ñuñoa)
Tel: 56 2 69 67 583
Fax: 56 2 69 81 474
Santiago
CHILE

Jordi CORBERA
Departamento de Geología, Dinámica, Geofísica y Paleontología
Facultat de Geología
Universitat de Barcelona
Zona Universitaria de Pedralbes
08028 Barcelona
Tel: 34 3 402 13 40
Fax: 34 3 402 13 76
SPAIN

Jaume CALVET
Departamento de Geología, Dinámica, Geofísica y Paleontología
Facultat de Geología
Universitat de Barcelona
Zona Universitaria de Pedralbes
08028 Barcelona, SPAIN
Tel: 34 3 402 13 40
Fax: 34 3 402 13 76

David VAUGHAN
British Antarctic Survey
High Cross
Madingley Road
Cambridge CB3 0ET, U. K.
Tel: 44 223 251 400
Fax: 44 223 626 16

Thomas NAGLER
Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck
Innrain 52
A-6020 Innsbruck, AUSTRIA
Tel: 43 512 507 5451
Fax: 43 512 507 2924

Monika JONAS
Institut für Angewandte Geodäsie
Richard-Strauss-Allee 11
D-60598 Frankfurt am Main
Tel: 49 69 63 33 440
Fax: 49 69 63 33 441
GERMANY

Jorn SIEVERS
Institut für Angewandte Geodäsie
Richard-Strauss-Allee 11
D-60598 Frankfurt am Main
Tel: 49 69 63 33 313
Fax: 49 69 63 33 441
GERMANY

Eduardo OLIVARES
Programa de Percepción Remota
Pontificia Universidad Católica de Chile
Av. Vicuña Mackenna 4860
Tel: 56 2 552 23 75
Fax: 56 2 552 60 05
Santiago
CHILE

Carlos Guillermo PATILLO BARRIENTOS
Programa de Percepción Remota
Pontificia Universidad Católica de Chile
Av. Vicuña Mackenna 4860
Tel: 56 2 552 23 75
Fax: 56 2 552 60 05
Santiago
CHILE

Dr. Steve COULSON
ERS Mission Section
ESRIN
Via Galileo Galilei
Casella Postale 64
00044 Frascati
Tel: 39 6 941 80 295
Fax: 39 6 941 80 321
ITALY

Roman ARBIOL
Departamento de Política Territorial i Obres Públiques
Institut Cartogràfic de Catalunya
Balmes, 209-21 1
08006 Barcelona
Tel: 34 3 218 67 58
Fax: 34 3 218 89 59
SPAIN

Philipp HARTL
Universität Stuttgart
Institut für Navigation
Keplerstrasse 11
70 – 74 Stuttgart
Tel: 49 711 121 3401
Fax: 49 711 121 2755
GERMANY

Juan Eduardo LIRA VERGARA
Comité Directivo
Programa Percepción Remota y SIG
Pontificia Universidad Católica de Chile
Av. Vicuña Mackenna 4860
Tel: 56 2 552 23 75
Fax: 56 2 552 60 05
Santiago
CHILE

María Viviana BARRIENTOS LARDINOIS
Servicio Aerofotogramétrico (SAF)
Fuerza Aérea de Chile
Estado Mayor General
Dirección de Operaciones
Santiago
CHILE

ADUANA
CUSTOMS

ESTADO Y PERSPECTIVAS DE LAS MISIONES ERS*

Maurizio Fea

Earth Observation Promotion, ESA/ESRIN
Agencia Espacial Europea (ESA). Via Galileo Galilei, 00044 Frascati.
Italia. Tel: (39.6) 9418.0580, Fax: (39.6) 9418.0361. Email: mfea@esrin.bitnet

Resumen

Este trabajo resume la situación actual de la misión ERS-1, después de más de tres años de operación, en lo referente a la confiabilidad y eficiencia de recepción de sus principales sensores (SAR, RA, AMI, ATSR) y la cobertura dada por las diversas estaciones receptoras distribuidas en el planeta y, en particular, en la Antártica. También se entrega una sinopsis sobre el ERS-2 y sus nuevos sensores (ATSR-2 y GOME), así como la potencialidad de investigación de la misión conjunta (tandem) de los ERS-1 y 2, lo que facilitará interesantes aplicaciones en interferometría. Finalmente, se incluye una visión general sobre los diversos Programas de la Agencia Espacial Europea (ESA), y en particular sobre el lanzador Ariane-5 y los futuros satélites ambientales ENVISAT-1 y METOP-1.

1. INTRODUCCION

Este Programa se inició en 1983, habiéndose lanzado el ERS-1 en 1991. Su operación está totalmente financiada, y el ERS-2 fue programado para Abril de 1995. El actual Administrador General de la Misión ERS, es el Sr. Gunther Kohlhammer.

2. ESTADO DEL ERS-1

Diseñado para una vida útil de dos (2) años, actualmente siguen operando en forma exitosa durante más de tres y medio (3,5) años.

Ha sido notable la gran estabilidad de la plataforma soportante de los sensores, lo que ha permitido un seguimiento preciso de órbita y efemérides, facilitando así la realización de importantes avances en investigaciones con técnicas de interferometría, para medir con precisión diferencias de niveles en la superficie terrestre (nieve, tierra, etc.), permitiendo realizar Modelos de Elevación de Terreno de alta calidad.

Hasta ahora se han adquirido más de 900.000 imágenes con el sensor SAR (Radar de Apertura Sintética), con un promedio de carga de 9 minutos por ciclo orbital.

Existen veinticuatro (24) estaciones receptoras ERS distribuidas a través del planeta, según se muestra en la Figura 1, existiendo principalmente tres (3) de ellas sobre la región Antártica (Figura 2): O'Higgins (operada por

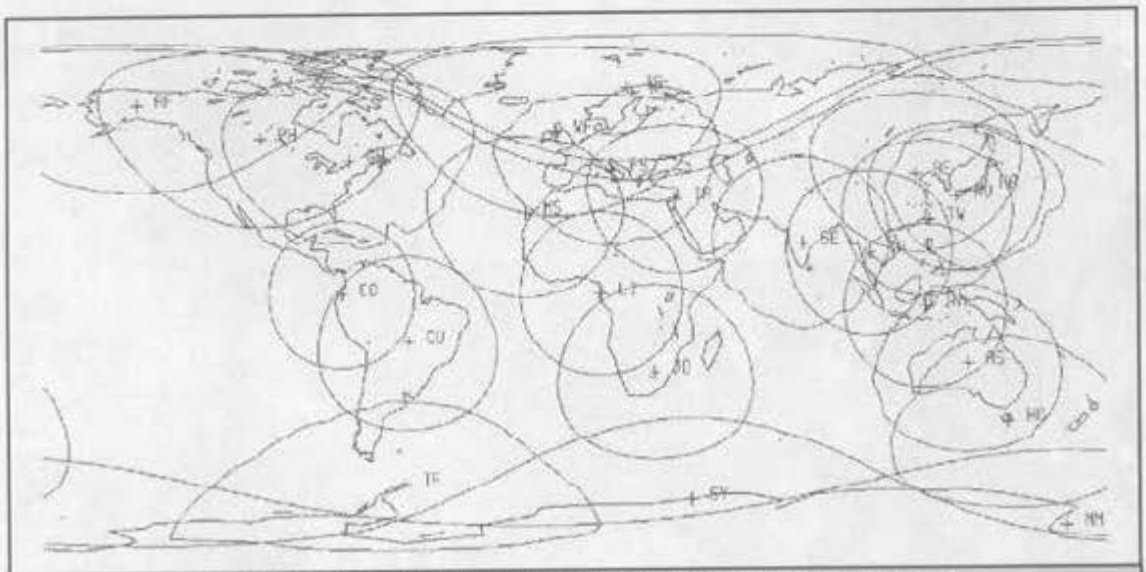


Figura 1.- Distribución y Rangos de Cobertura de las 24 Estaciones ERS en el planeta.

*Traducción y adaptación: Prof. Mauricio Araya F.

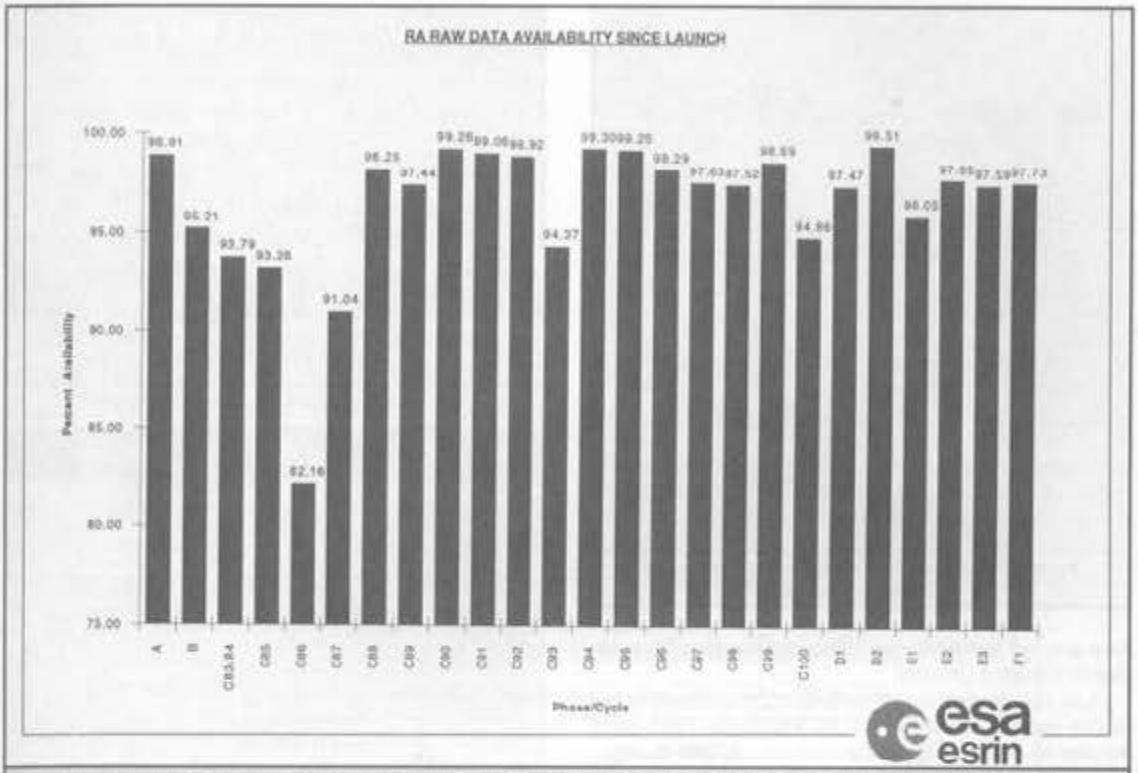


Figura 3.- Disponibilidad de datos del Sensor Altímetro Radar (RA: Radar Altimeter) desde el lanzamiento del ERS-1.

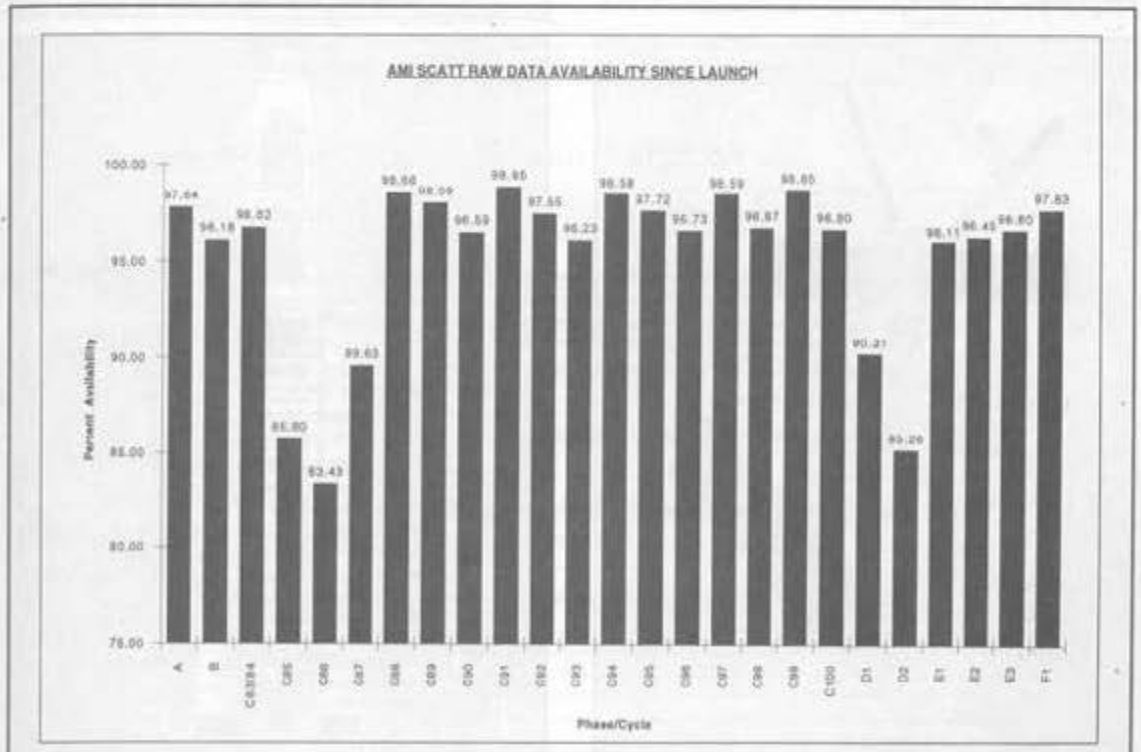


Figura 4.- Disponibilidad de Datos del Dispersómetro (AMI SCATT: Active Microwave Instrument, Wind Scatterometer) desde lanzamiento del ERS-1.

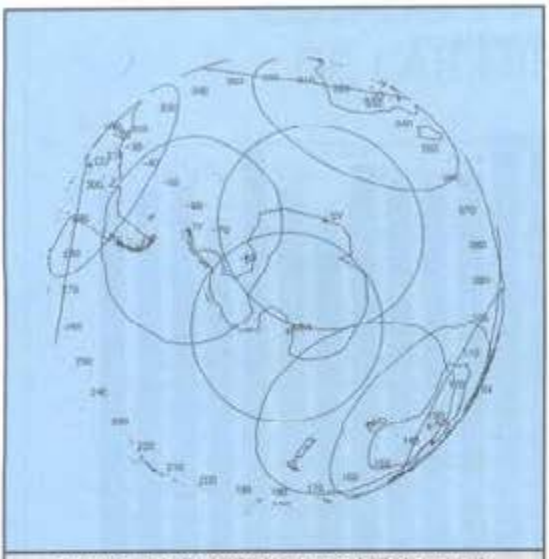


Figura 2.- Distribución y Rangos de Cobertura de las Estaciones Antárticas ERS.

Alemania en convenio con Chile), Syowa (Japón) y Mc Murdo (Estados Unidos).

Las características del ciclo orbital de cobertura del ERS-1 variaron desde el 21 de Marzo de 1995, para trabajar en misión conjunta (tandem) con el ERS-2, según se puede ver en la Tabla 1.

Las estadísticas de disponibilidad de datos en los distintos ciclos del ERS-1 han sido muy altas, para todos sus sensores. La Figura 3 muestra los resultados para el

- 27 March 95 at 08:45.
  Orbit 19333 over the Arctic regions
- Previous Phase : F 168 day repeat cycle
  start : 28 September 1994
  end : 19 march 1995 (nominal)
  orbit ground track off-set at equator: 16.5 Km
  Current Phase : G 35 day repeat cycle
  start : 21 March 1995 (executed
  end : after ERS-2
  commissioning + 9 months
  orbit ground track off-set at equator: 79.8 Km

Tabla 1.- Estado del ERS-1 (trazado orbital).

O'Higgins	Syowa	McMurdo
campaign dependent	campaign dependent	under test
executed in 1995: 15 Jan. - 15 Feb.	executed in 1995: 15 Jan. - 15 Feb.	executed in 1995: 6 test passes up to 6 Mar
TBC 1995: 01 Apr. - 01 May 25 Oct. - 25 Nov.		
TBC 1996: 15 Jan. - 15 Feb 01 Aug. - 30 Aug.		

Tabla 2.- Estaciones Antárticas ERS: Misiones Programadas 1995/96.

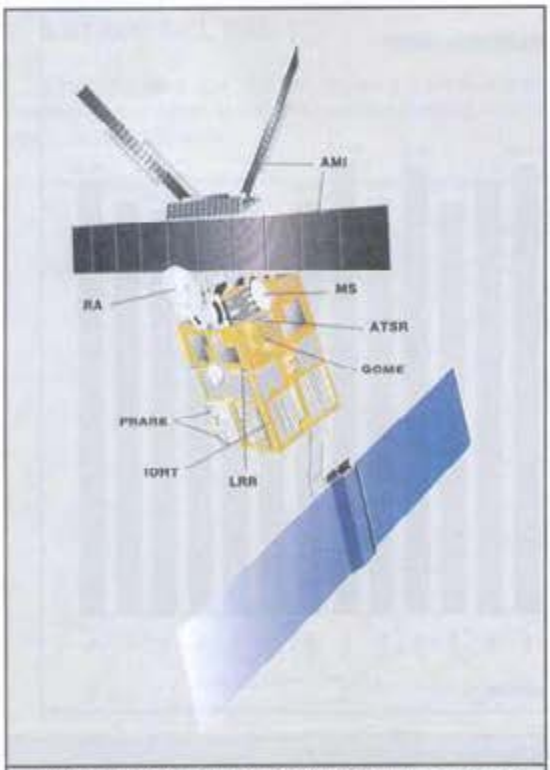


Figura 7.- Esquema del ERS-2 y sus Sensores a Bordo.

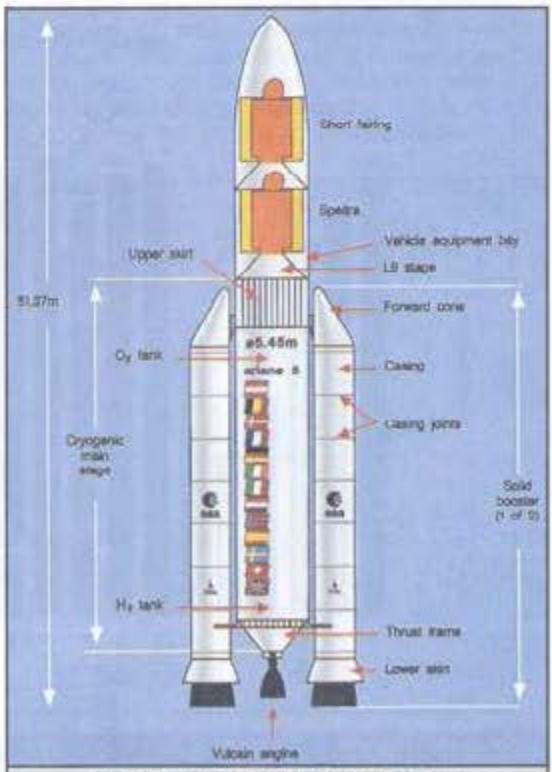


Figura 8.- Esquema del Lanzador Ariane-5

ERS - 1 A.O. & PILOT PROJECTS

••• First Announcement of Opportunity issued in May 1986
- 270 Principal Investigators
- Results presented at the first two ERS - 1 symposia
  - Cannes November 1992
  - Hamburg October 1993

••• – 150 projects selected worldwide in 1989 and 1993
- Results presented at the Toledo workshop

ERS A.O.

- New Announcement of Opportunity issued end 1993
- – 430 proposals received from 38 countries and 4 international organisations
- – 280 proposals accepted in February 1995
- Next ERS Symposium: Italy Autumn 1995 (tbc)

Tabla 3.- Resumen de los Anuncios de Oportunidades (AO) y Proyectos Pilotos.

- 35 day repeat cycle for both satellites
- Approved Tandem Scenario:

  Join ERS-1/2 operations after ERS-2 commissioning for 9 months phase with 1 (or 8) day ground site revisating

  Main Features : FD products only from operational spacecraft off-line products from both satellites

  Benefits : interferometry potential, multi-sensor synergy, relaxation of instrument operation exclusivity, space/time sampling increased.

Tabla 4.- Escenario Orbital ERS-1 y ERS-2.

Altimetro de Radar (RA: Radar Altimeter), muy importante para tomar precisas mediciones de distancias y asi determinar variaciones en la superficie del océano y altura de olas.

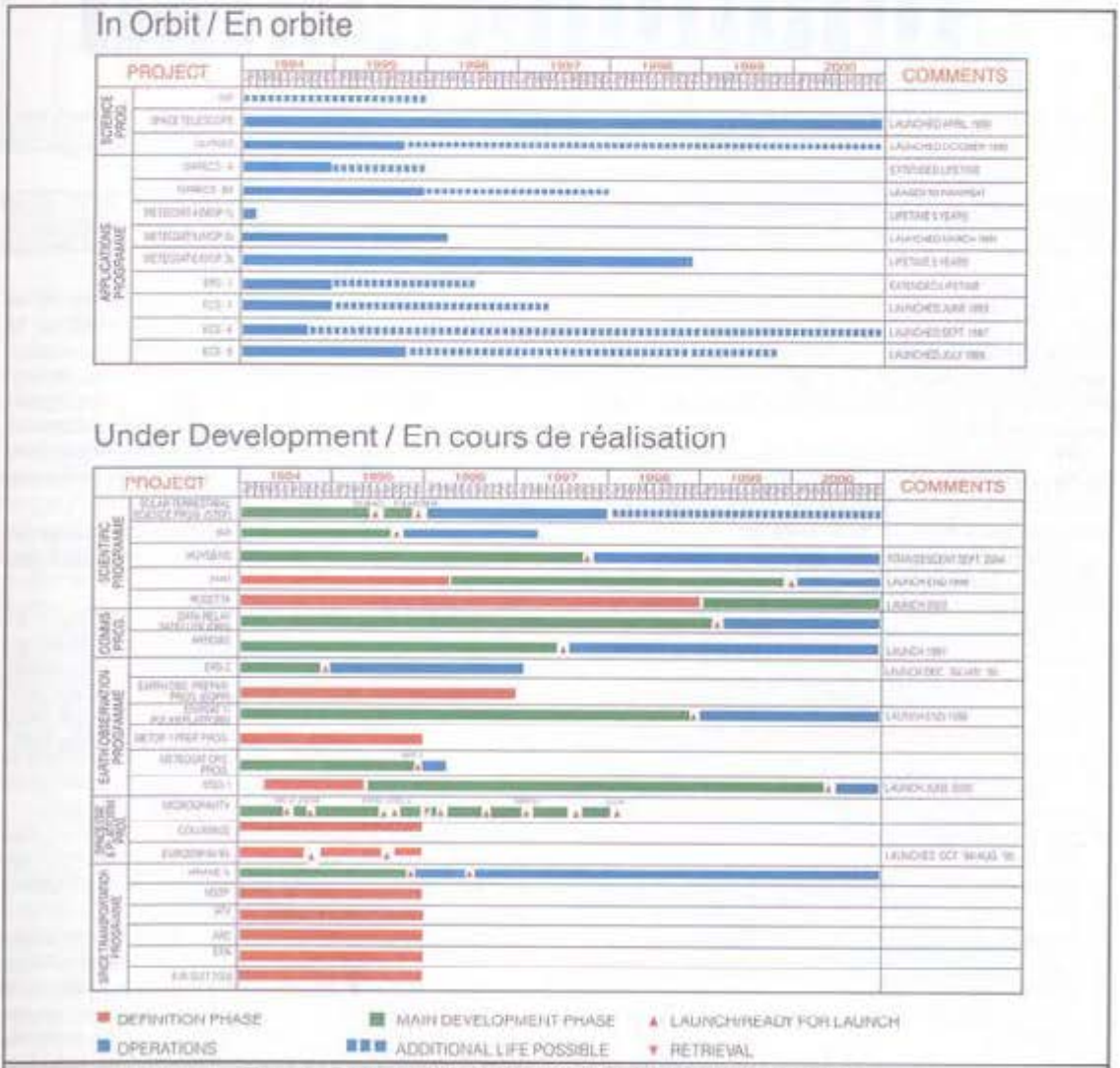


Figura 9.- Resumen de Programas en Desarrollo y Operación de la ESA.

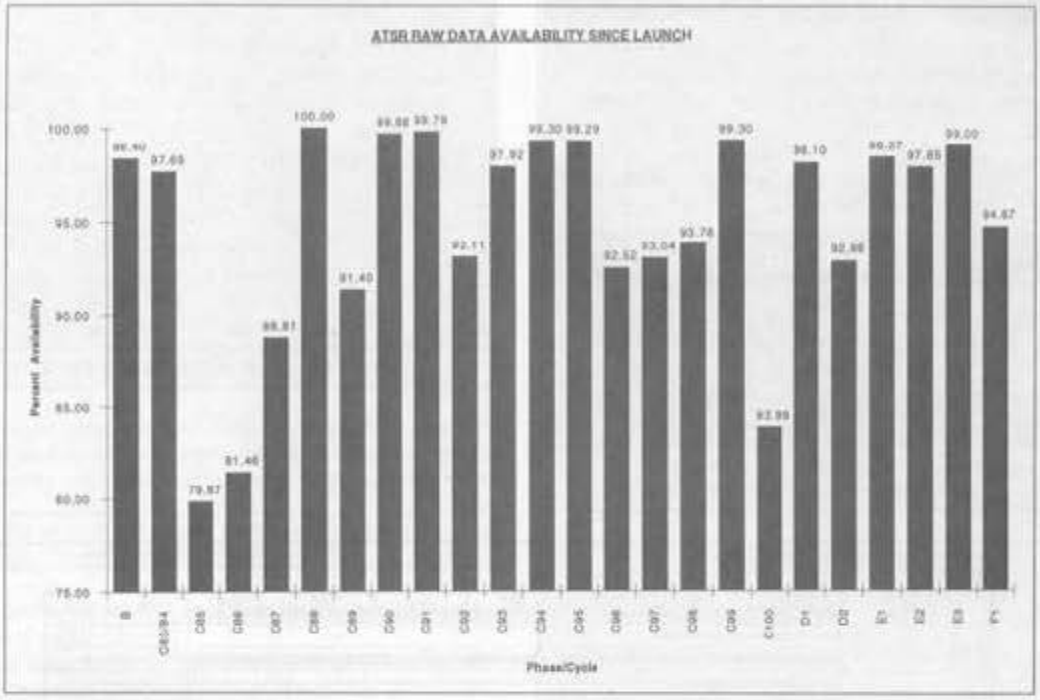


Figura 5.- Disponibilidad de Datos del Radiómetro de Barrido en el sentido de la órbita (ATSR: Along Track Scanning Radiometer) desde el lanzamiento del ERS-1.

La Figura 4 muestra los resultados de operación del Instrumento Activo de Microondas (AMI: Active Microwave Instrument), que consta de un Radar de Apertura Sintética (SAR: Synthetic Aperture Radar) y de un medidor de dispersión para vientos (Wind Scatterometer), ambos operando en la Banda C.

En la Figura 5 se aprecia la operatividad del Radiómetro de Barrido en el sentido de la órbita (ATSR: Along-Track Scanning Radiometer), muy útil para medir temperaturas, sobre todo en la superficie del mar.

Finalmente, la Figura 6 muestra la estable evolución del enlace (Transponder 2) a través del tiempo de operación del ERS-1.

En relación a la Antártica, la Tabla 2 resume las próximas campañas de adquisición de datos, en las Estaciones O'Higgins, Syowa y Mc Murdo, detectando el nutrido programa de la Estación ERS O'Higgins.

Para la evaluación global de la operación del ERS-1, la Agencia Espacial Europea ha organizado varios simposios eventos, donde se han expuesto resultados logrados a través del mundo. Las áreas de particular interés de los Simposios ERS-1 han sido:

- Interferometría SAR
- Detección de fenómenos atmosféricos
- Mezcla (merging) de datos SAR con imágenes de alta resolución óptica (LANDSAT TM, SPOT)
- Uso del dispersómetro (AMI Scatterometer) sobre superficie de agua, tierra y hielo
- Investigaciones más intensivas sobre zonas tropicales y polares.
- Empleo de la información ERS-1 para seguimiento de desastres naturales (ej.: inundaciones fluviales).

Para lograr estos resultados, la ESA realizó varios Anuncios de Oportunidades (A.O: Announcement of Opportunities), donde investigadores de diversas instituciones y organizaciones del mundo propusieron Proyectos Pilotos, los que fueron seleccionados y apoyados con imágenes, otros datos y facilidades. En el primer llamado, se presentaron más de 270 Investigadores Principales, presentándose los resultados en los Simposios de Cannes (Noviembre 1992) y Hamburgo (Octubre 1993).

Se seleccionaron más de 150 Proyectos a través del mundo, entre 1989 y 1993, presentándose los resultados en el Taller de Toledo.

Un nuevo Anuncio de Oportunidades, realizado en 1993, permitió recibir más de 430 Propuestas de Investigaciones (de 38 países y 4 organismos internacionales), aceptándose más de 280 Propuestas en Febrero de 1995. Los resultados serán expuestos en el próximo Simposio ERS a realizarse en Italia, durante el otoño boreal de 1995. Estas cifras se resumen en la Tabla 3.

3.- ESTADO DEL ERS-2

Este satélite es de idéntica características al ERS-1, pero cuenta con dos nuevos sensores.

a) El Radiómetro de Barrido en el sentido de la Orbita (ATSR-2: Along Track Scanning Radiometer 2), similar al ATSR-1 pero con tres (3) canales adicionales en el Visible, lo que además de permitir determinar temperaturas superficiales (océano, en especial), serán de gran utilidad para estudiar la cobertura de vegetación en la superficie terrestre.

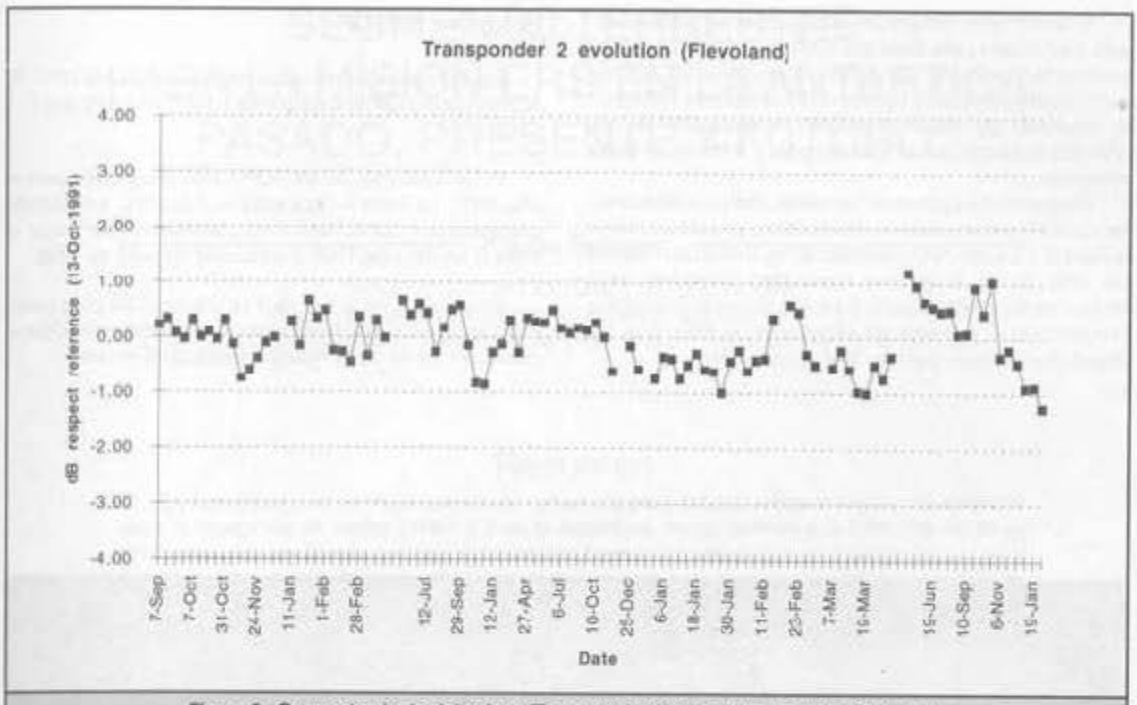


Figura 6.- Comportamiento del enlace (Transponder 2) del ERS-1 a través del tiempo.

b) El Experimento de Vigilancia Global del Ozono (GOME: Global Ozone Monitoring Experiment), consistente en un espectómetro de absorción con cuatro (4) canales, en las bandas ultravioleta (UV), visible (VIS) e infrarrojo (IR), abarcando un rango de 0,24 - 0,79 um, que incluye las tres bandas normales de absorción del ozono (Hartley, Huggins y Chappius). Este sensor permitirá medir, además de la presencia del ozono, trazas de gases y aerosoles en la estratósfera y la tropósfera.

El satélite ERS-2 está almacenado en Kourou desde Enero de 1995, esperando su lanzamiento, programado para el 21 de Abril de 1995, a las 01.44 GMT, situación que ya fue verificada exitosamente a la fecha de impresión de esta publicación, estando actualmente en período de prueba por tres meses, para calibrar los Sensores del Satélite y los Sistemas de Procesamiento en tierra.

Durante este mismo período, el ERS-1 continuará trabajando de manera normal en su ciclo de 35 días. El ERS-2 volará en la misma órbita del ERS-1, estando separados en el espacio, de tal manera, que pasarán sobre un mismo lugar con diferencia de un día. Esto permitirá realizar valiosos experimentos de Interferometría y Observación Multitemporal.

La figura 7 muestra los diversos sensores y experimentos a bordo del ERS-2. La Tabla 4 resume las características del escenario orbital de operación conjunta (tandem) de los ERS-1 y ERS-2 los que, según se dijo antes, están programados para adquirir imágenes sobre un mismo punto con diferencia de 1 día, facilitando así importantes experimentos de Interferometría (detección de variaciones de niveles) y el consiguiente seguimiento de desastres naturales (inundaciones, levantamientos en la superficie terrestre, debido a deslizamientos, terremotos, etc.).

La operación conjunta de los ERS-1 y 2 permitirá realizar importantes aplicaciones en diversos temas, tales como:

- Oceanografía: seguimiento y pronóstico del estado del mar, planificación de rutas de navegación, seguimiento de operaciones costa afuera, climatología de vientos y olas para dimensionamiento de construcciones costa afuera (ej.: plataformas de perforación petrolíferas).
- Vigilancia en Zonas Polares: operaciones en ambientes poblados de hielos flotantes, identificación de rutas de navegación en zonas con hielos.
- Recursos Terrestres: cobertura vegetal, agricultura, silvicultura (forestación), geología.
- Hidrología: humedad del suelo, variaciones de cobertura de nieve.
- Seguimiento de Desastres: inundaciones fluviales, erupciones volcánicas, terremotos y subsecuentes solevantamientos y derrames de petróleo en el mar.
- Interferometría SAR: Modelos Digitales de Elevación de Terrenos y Aplicaciones.

4. PROGRAMAS FUTUROS

Como es sabido, la Agencia Espacial Europea (ESA) tiene una serie de planes futuros, para los cuales, el lanzamiento del ARIANE-5 será de vital importancia (Figura 8). Entre los Programas de interés para el Medio Ambiente cabe destacar:

Programa ENVISAT

Estos Satélites de Orbita Polar fueron diseñados primeramente en 1984, estando actualmente en avanzado estado de construcción o prueba, la mayoría de los sensores considerados. Existen Grupos Científicos de Trabajo para todos los instrumentos que operarán.

El Administrador General para la Misión ENVISAT-1 es el Sr. Stefano Bruzzi.

El lanzamiento del primer satélite de la serie ENVISAT, está planificado para fines del 1998. El programa ya está totalmente financiado. Se realizó un Encuentro de Consulta a los Usuarios en Enero, Febrero y Noviembre de 1994, con el propósito de afinar el diseño de operación de los diversos sensores contemplados para ir a bordo en estas misiones.

Respecto del segmento Terrestre, vital para el rastreo, recepción y procesamiento de los datos, ya está completa la Fase B. La Fase de Consolidación se finalizó en Febrero de 1995. Existe acuerdo y capacidad operativa para Productos ESA hasta Nivel 2. Se están afinando Conceptos Programáticos, a través de Delegaciones ESA, que los discuten y analizan para su final aprobación.

Programa METOP

Este programa será desarrollado con EUMETSAT. El Administrador General de la Misión METOP-1 es la Sra. Eva Oriol.

El Lanzamiento del METOP-1 está planificado para el año 2001. La Fase A para estudio industrial, está siendo analizada con EUMETSAT. Está planificando comenzar la Fase B en Abril de 1995 y concluirla en Julio de 1996.

Finalmente, en la Figura 9 se resumen los principales Programas en Vía de Realización o de Explotación Operacional por parte de la Agencia Espacial Europea.

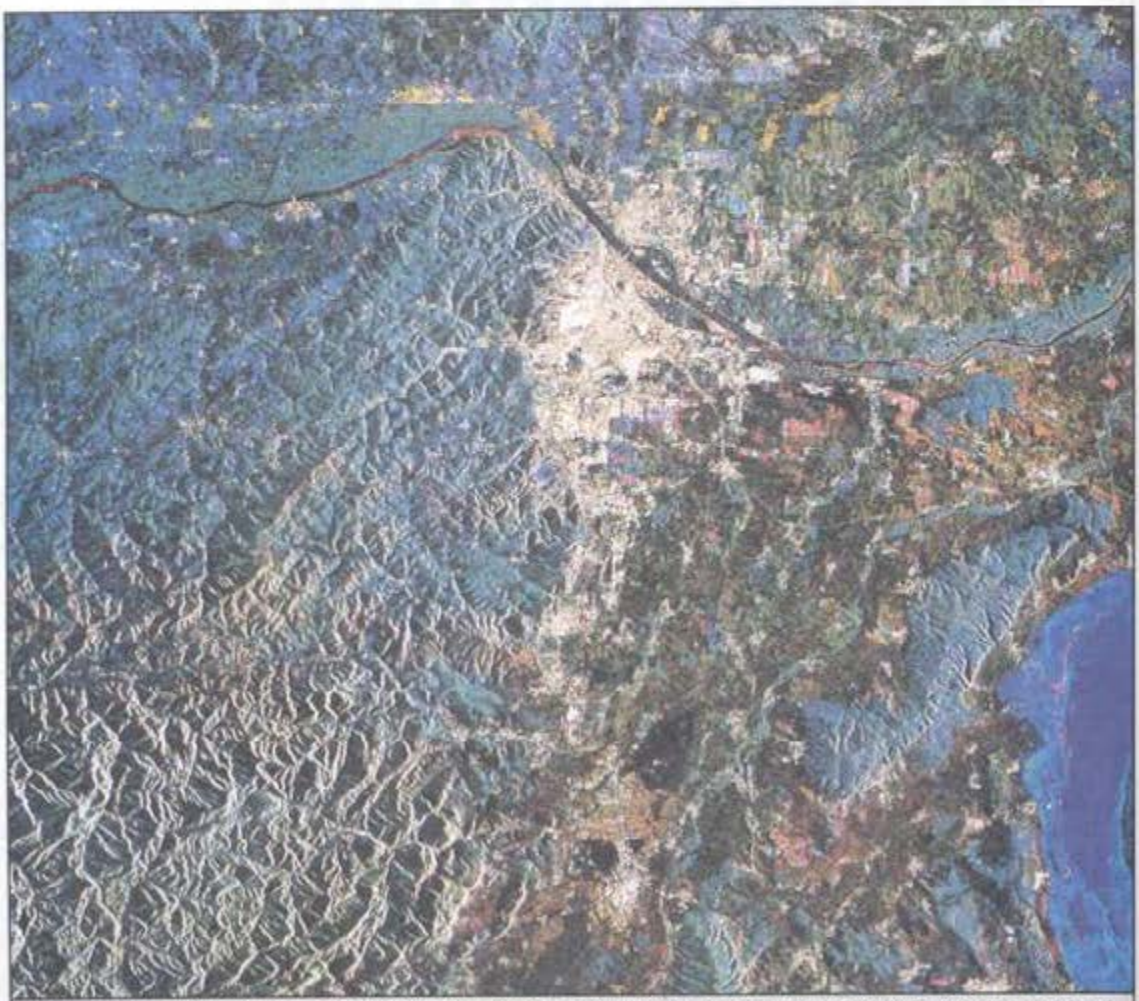


Figura 10.- Imagen Multitemporal ERS-1 sobre Viena, Austria, Sede del XVIII Congreso Plenario de la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Percepción Remota (ISPRS), a desarrollarse en Julio de 1996. En rojo: Orbita 7696, Cuadro 2637, del 4 de Enero de 1993; en verde: Orbita 5692, Cuadro 2637, del 17 de Agosto de 1992; en azul: Orbita 4189, Cuadro 2637, del 4 de Mayo de 1992. Se aprecia el Río Danubio cruzando, de izquierda a derecha, la ciudad de Viena, que aparece en tonos blancos. (Fuente: ESA/ESRIN, O. Arino, J. Lichtenegger y G. Calabresi).

SEGMENTO TERRESTRE PARA LA MISION ERS EN LA ANTARTICA: PASADO, PRESENTE Y FUTURO*

Klauss Reiniger

Jefe Operaciones DLR Estación ERS O'Higgins,
Deutsche Forschungsanstalt für Luft-und Raumfahrt e.V. (DLR),
D-8031 Oberpfaffenhofen, Alemania. Tel: (49.8153) 281.189, Fax: (49.8153) 281.443

Resumen

En este trabajo se entrega una visión resumida pero amplia sobre el segmento terrestre para la recepción de datos ERS-1 y 2 en la Antártica. Se da énfasis a la Estación de Base O'Higgins, por ser la más antigua actuando en forma operativa y por su interés natural para América del Sur, dado su rango de recepción, que incluye el extremo austral de Sudamérica, además de gran parte de la Antártica. Se resumen los resultados de las diversas campañas realizadas y sus proyecciones futuras.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

1. INTRODUCCION

El segmento Terrestre ERS para la Antártica comenzó a operar casi inmediatamente después del lanzamiento del ERS-1, en Septiembre de 1991.

La figura 1 muestra el actual rango de cobertura de las tres (3) Estaciones Antárticas ERS: O'Higgins (Alemania, en convenio con Chile), Showa (Japón) y Mc Murdo (Estados Unidos).

La primera Estación que comenzó a operar fue la de Gral. Bernardo O'Higgins, en la Base del mismo nombre pero instalada con financiamiento del Ministerio de Ciencias y Tecnología de Alemania y el apoyo logístico chileno, para lo cual fue necesario realizar un Convenio de Cooperación entre ambos países. Estas actividades comenzaron en 1991, estando el Instituto Alemán de Geodesia Aplicada (IFAG) a cargo de la construcción de la Estación (emplazamiento con alta precisión geodésica), el Instituto Polar Alemán Alfred Wegener (AWI) a cargo de la cooperación científica con su contraparte el Instituto Antártico Chileno (INACH) y el establecimiento Aeroespacial Alemán (DLR) a cargo de las operaciones.

La Estación fue concebida como una unidad transportable fácilmente, construida y probada en Alemania y posteriormente llevada en contenedores a la Península Antártica. Ello le permitió entrar en operación casi conjuntamente con el lanzamiento del ERS-1.

Las actividades fueron planificadas como Campañas Antárticas, donde un grupo científico alemán (DLR especialmente) viajaría dos a cuatro veces al año a la Base O'Higgins, para adquirir datos ERS. Para ello se contó con el apoyo logístico chileno desde la Base Marsh, en la Isla Rey Jorge, y posteriormente trasladada a la Base O'Higgins en aviones más livianos, capaces de aterrizar en hielo, asegurando así una operatividad casi permanente a través del año.

2. CAMPAÑAS ANTARTICAS EN LA ESTACION ERS O'HIGGINS

Según se dijo, estas campañas comenzaron en 1991, en la Base O'Higgins.

Posteriormente se acopló la Estación de Showa y, recientemente, la de Mc Murdo.

La figura 2 muestra un resumen de la Estación O'Higgins, con una vista sinóptica de su emplazamiento (tomada desde el glaciar continental más cercano), un aspecto de su equipamiento interior y una muestra de imagen SAR. La figura 3 muestra un mosaico de la zona de trabajo más activa en la Península Antártica.

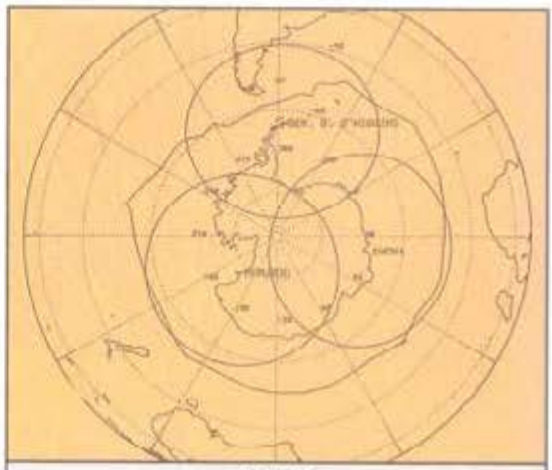


Figura 1:
Rangos de Cobertura de las Estaciones Antárticas ERS.

* Traducción y adaptación: Prof. Mauricio Araya F.

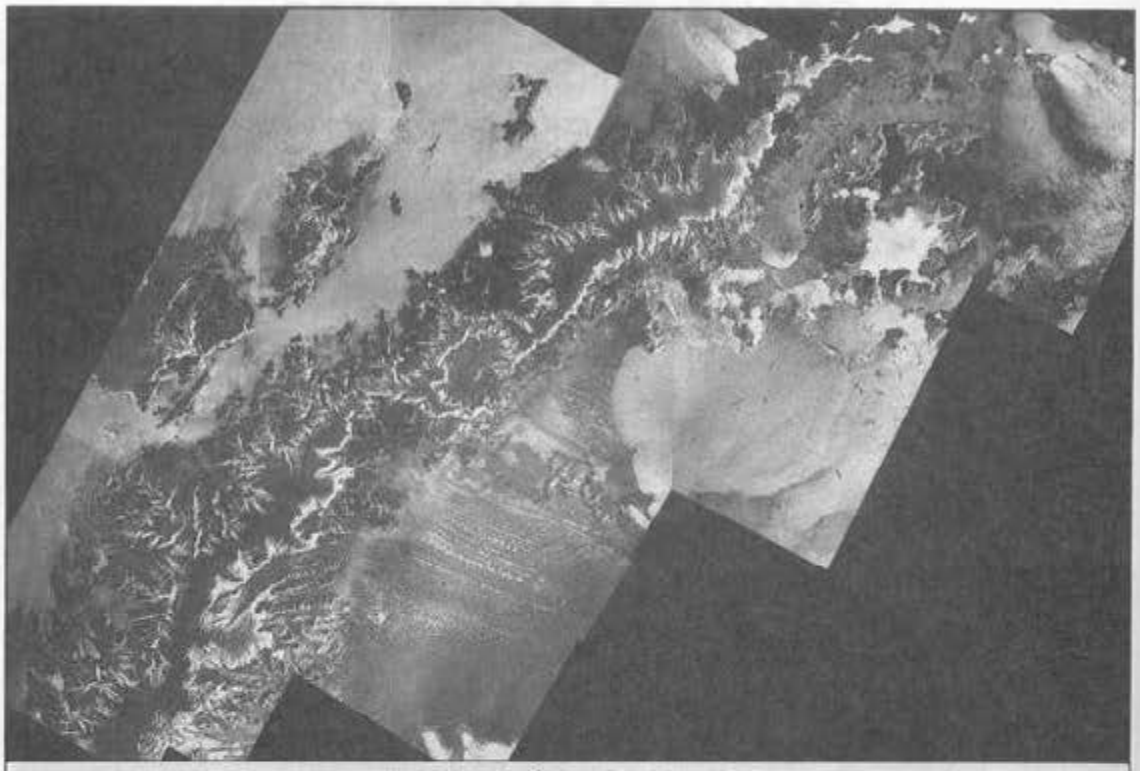


Figura 3: Mosaico satelital Península Antártica

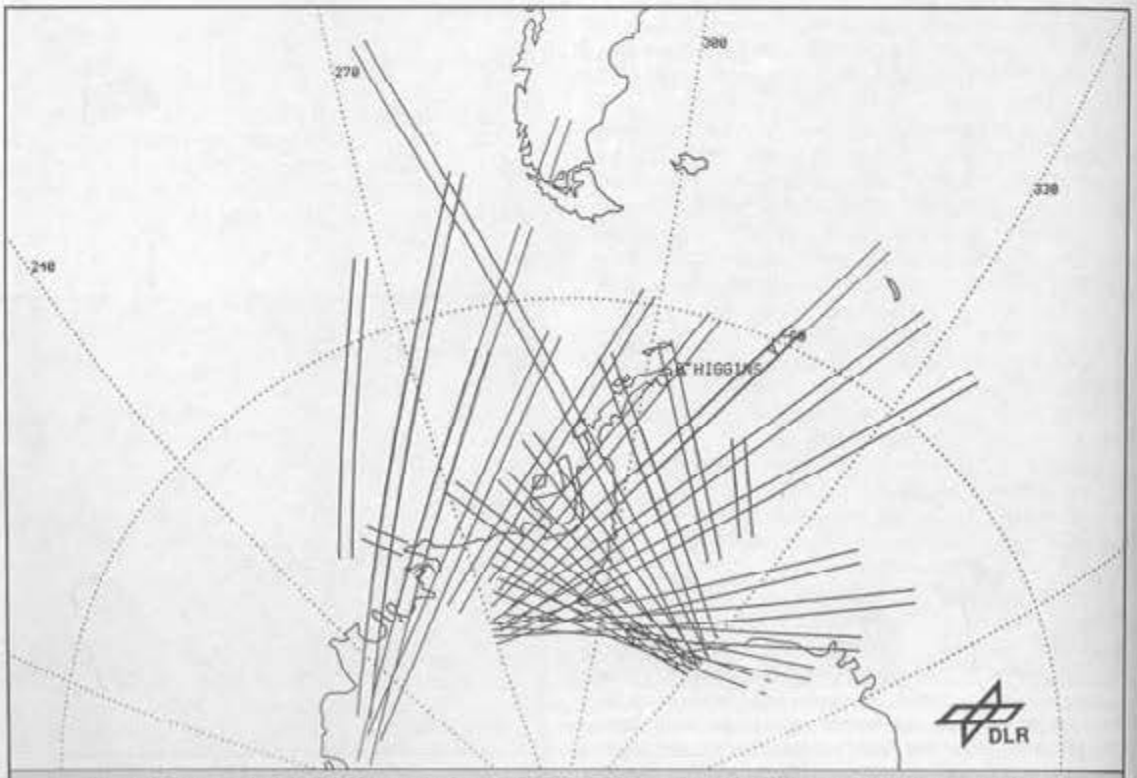


Figura 4: Reporte de Adquisición para imágenes SAR de ERS-1 en Estación O'Higgins (10.01 al 15.03 de 1992)

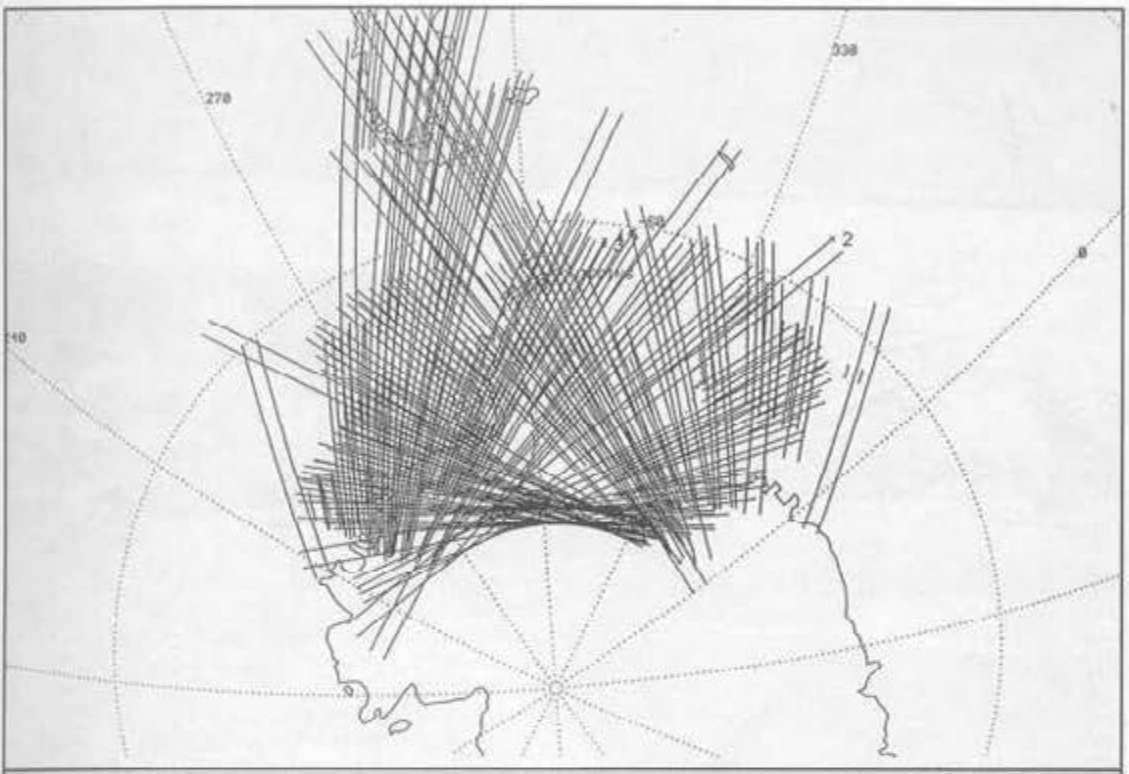


Figura 5: Reporte de Adquisición para imágenes SAR del ERS-1 en Estación O'Higgins (22.11 al 09.12 de 1992)

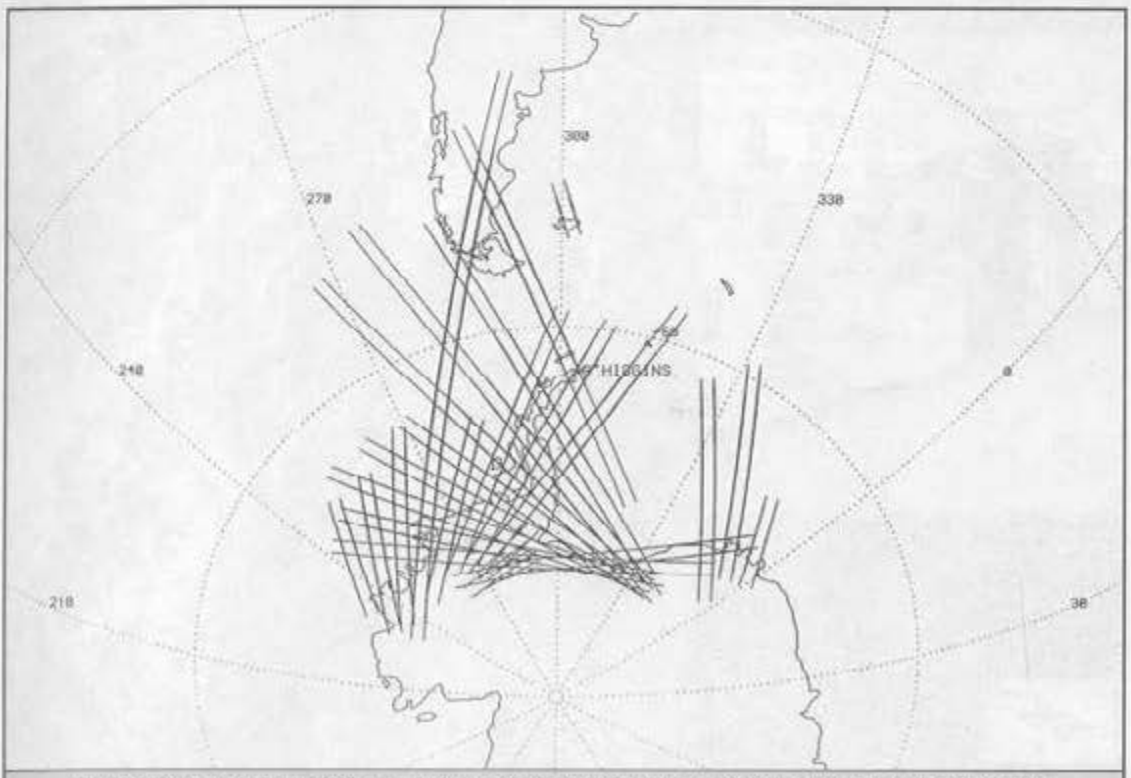


Figura 6: Reporte de Adquisición para imágenes SAR del ERS-1 en Estación O'Higgins (20.01 al 20.03 de 1994)

Figura 2: Estación ERS O'Higgins

DATA BASE OF O'HIGGINS GROUND STATION

- Total number of executed campains: 8
- Total number of acquierd orbits: 1684
- Total number of unprocessed scenes: 22 070 (without 1995 campain)
- Total number of processed data: 3 452

PRI	2 564	SLC	359
GEC	478	RAW	15
RTM	0	TSD	36

Tabla 1: Resumen de Campañas de Adquisición de Datos ERS en Estación O'Higgins

SUM OF ERS - 1 ACQUISITION CAMPAINS AT O'HIGGINS

24.09.- 12.01.	1991	040	Testcampain			
10.01.- 15.01.	1992	349	391	17	25	93.3%
01.07.- 31.07.	1992	204	243	38	00	99.5%
22.11.- 09.12.	1992	121	129	00	08	93.8%
10.01.- 24.02.	1993	173	205	03	29	85.6%
15.08.- 12.09.	1993	187	195	02	06	96.9%
20.01.- 20.03.	1994	400	414	11	03	99.3%
15.01.-15.02.	1995	205	214	07	02	99.0%
15.08.-15.09.	1995	planned				
15.11.-15.12.	1995	planned				

Tabla 2: Resumen final de Datos Adquiridos por la Estación ERS / O'Higgins

En la Tabla 1 aparece un resumen de las Campañas Antárticas realizadas en la Estación O'Higgins, habiendo sido la más larga, la de test o calibración, entre el 24 de Septiembre de 1990 y el 12 de Enero de 1991, habiendo pasado después a una fase operativa, a través de las diversas campañas realizadas posteriormente. Según se aprecia, los resultados logrados respecto a lo programado, fueron muy satisfactorios (normalmente sobre 90%).

La Figura 4 muestra la órbitas de cobertura logradas para el verano de 1992 (10.01 al 15.03). La Figura 5, muestra la situación para la campaña de fines de 1992 (22.11 al 09.12). La Figura 6 resume la situación para la campaña del verano austral de 1994 (20.01 al 20.03). La Figura 7 muestra la situación para la campaña del verano austral de 1995 (15.03 al 16.02). En la Figura 8 se muestra la situación entre el (05.03 al 10.03) de 1995. Finalmente, en la Tabla 2 se resume la situación de todos los datos adquiridos y procesados, obtenidos desde la Estación ERS / O'Higgins.

Para Octubre de 1995 está planificada otra campaña en la Base O'Higgins, contemplando la adquisición de datos ERS-1 y ERS-2 (en periodo de prueba), sobre la Antártica y el extremo Sur Continental de Sudamérica.

3. SITUACION FUTURA DE LA ESTACION ERS / O'HIGGINS

Esta importante Estación para la Península Antártica y el Extremo Austral de América del Sur, tiene su financiamiento asegurado, por parte del Gobierno Alemán, hasta 1998 y, opcionalmente, hasta el año 2003.

Está planificado realizar dos (2) Campañas de adquisición de datos en el año, con treinta y cinco (35) días de operación cada una. Opcionalmente, se podrían realizar Campañas adicionales, de acuerdo a las necesidades científicas reales que así lo precisen.

Esta Estación apoyará las siguientes misiones, en los próximos años:

a) Misión Conjunta (tandem) ERS-2 y ERS-1
b) Misión del Satélite Canadiense RADARSAT (lanzamiento planificado para el último trimestre de 1995)
c) Misión ENVISAT de la Agencia Espacial Europea (para 1998 está planificado el lanzamiento del ENVISAT-1)
d) Otras actividades científicas (VLBI, GPS, etc.)

Finalmente, para el año 2003, está planificado transferir la Estación Alemana ERS / O'Higgins a la Contraparte Chilena.

Fotografías: Dr. Klauss Reinger (DLR)

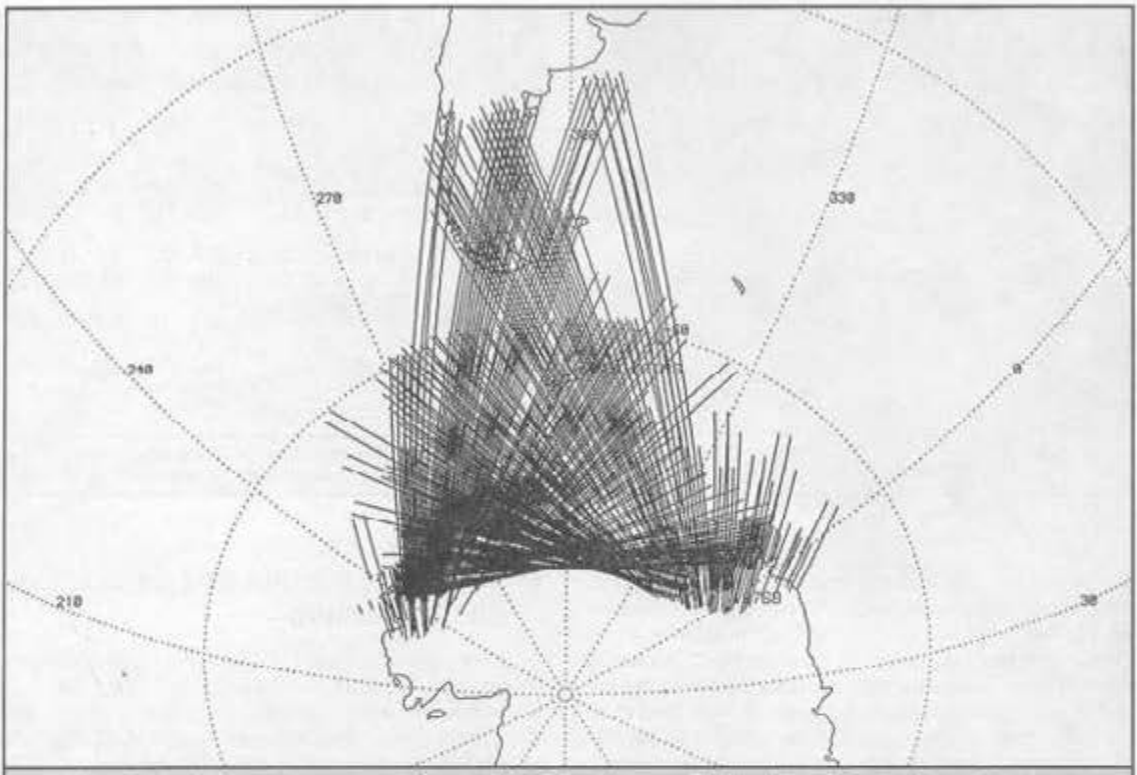


Figura7: Reporte de Adquisición para imágenes SAR del ERS-1 en Estación O'Higgins (15.01 al 16.02 de 1995)

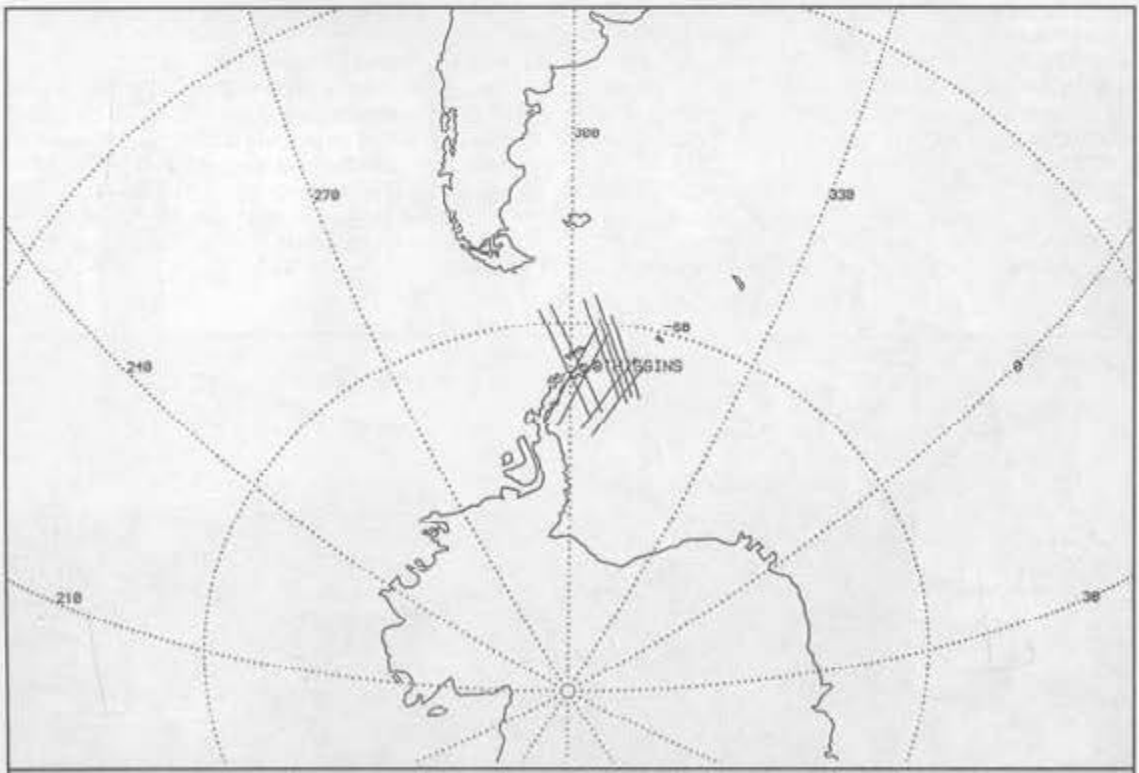


Figura8: Reporte de Adquisición para imágenes SAR del ERS-1 en Estación O'Higgins (05.03 al 10.03 de 1995)

APLICACION DE LA INTERFEROMETRIA A LA GEOCORRECCION DE IMAGENES SAR/ DEL SATELITE ERS-1

Roman Arbiol, Manuel Castillo, Carles Franquesa y Vicenç Palà

Institut Cartogràfic de Catalunya
Balmes 209-211, 08006 Barcelona. España
Tel.: (34.3) 218.8758, Fax: (34.3) 218.8959

Abstract

In this paper we will describe all different processes used for the geocorrection of the ERS-1 satellite / SAR imagery. These developments have been tested in the production of SAR image cartography on different areas in Europe and Antarctica.

The need of a good enough Digital Elevation Model (DEM) to be used in the SAR geocorrection process is demonstrated. One of the tools used in DEM production is Interferometric SAR (INSAR). A few basic trends are explained presenting its benefits and weaknesses with a set of samples taken on different regions of Europe and Antarctica.

Resumen

En esta exposición se presentan los distintos desarrollos realizados para la corrección geométrica de las imágenes SAR del satélite ERS-1 y utilizados para la construcción de cartografía imagen a escala 1:250.000 en zonas de Europa y de la Antártida.

Se ilustra asimismo la necesidad de un buen Modelo Numérico de Elevaciones (MNE) para la adecuada corrección de las imágenes SAR. Una de las herramientas disponibles para la obtención de ese producto es la Interferometría SAR. Se explican algunos fundamentos teóricos y algunas de sus limitaciones, con algunos ejemplos realizados también en Europa y la Antártida.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

1. INTRODUCCION

A diferencia de los sensores ópticos de teledetección que proporcionan imágenes relativamente cómodas para su interpretación y con distorsiones geométricas limitadas, las proporcionadas por el Radar de Apertura Sintética se caracterizan por:

- una deformación geométrica consistente en posicionar los puntos del territorio en la imagen, no según sus posiciones relativas en el terreno sino en función de su distancia real al sensor (de ahí la necesidad de utilizar un modelo numérico de elevaciones para su corrección), quedando tanto más a un lado de la imagen cuanto más elevado sea el terreno en ese punto, y sumando la respuesta de todos los puntos que equidisten al satélite. Esto provoca un efecto de achatamiento en las zonas montañosas así como estiramientos y contracciones de la superficie de forma proporcional al área encarada al sensor. Es decir, de las dos vertientes que forma un monte en el plano de barrido del sensor, para una línea de imagen dada, tendremos la acumulación (suma) de la señal reflejada por toda una vertiente en pocos puntos, con alta señal radiométrica y un área mayor de menor señal correspondiente a la vertiente opuesta.
- una respuesta radiométrica fuertemente dependiente de la topografía, con una intensidad tanto más fuerte cuanto mayor es la rugosidad de la superficie, lo que provoca, por ejemplo, cambios significativos en el agua del mar en distintos momentos, con los consiguientes problemas de mosaico. Tengamos presente que una superficie totalmente lisa no respondería a las ondas emitidas por la antena por no estar ésta trabajando en posición vertical.

2. LA CORRECCION GEOMETRICA

Cualquier proceso de corrección geométrica parte del conocimiento de la relación existente entre la posición de los puntos de la imagen y su posición en el suelo, de forma que podamos trabajar en un sistema de referencia o en el otro indistintamente.

Estas funciones de transformación pueden definirse a partir de un modelo de deformación, en el que se implementa la geometría del sensor y de la plataforma que lo transporta, o bien a un modelo empírico definido usualmente mediante funciones polinómicas. En el primer caso se utiliza información preexistente, como la presente en las cabeceras de las imágenes, de las que se deducen parámetros del modelo, y coeficientes ajustables resultantes de la propia indeterminación de la georreferenciación. Estos coeficientes son ajustados a partir de la información obtenida mediante la localización de puntos de control en la imagen y en el suelo.

En el caso del SAR se utilizó un modelo físico de transformación. El cálculo debe determinar, para cada

Figura 1: Imagen no georreferenciada de la Isla de Ross (Antártida) obtenida por el satélite ERS-1

Figura 2: Imagen de la Isla de Ross (Antártida) georreferenciada en el ICC.

Figura 3: Pasada ERS-1 sobre Cataluña georreferenciada

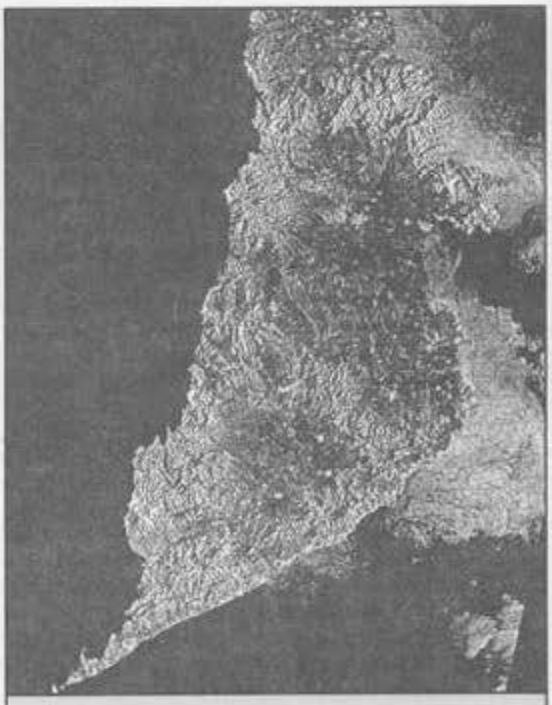


Figura 4: Pasada ERS-1 sobre Cataluña georreferenciada y con la costura definida para realizar el mosaico 1:250.000 .

pixel del territorio a cartografiar, cual es la posición en la imagen original. Esta posición quedará determinada por la columna y la fila correspondiente, que deberán calcularse por separado. La fila queda fijada a partir del conocimiento de la órbita seguida por el satélite y del tiempo en que se tomaron cada una de las líneas. La columna queda fijada por la distancia del punto en el suelo a la posición que ocupaba el satélite (Palà y col., 1993).

3. ALGUNOS EJEMPLOS

A partir de la colaboración con el Instituto Geográfico Militar de Argentina se obtuvieron dos imágenes SAR del satélite ERS-1 de la Isla de Ross, en la Península Antártica. También se consiguió, a través de la oficina de distribución de datos ERS de la Agencia ESA - ESRIN una cinta con la reconstrucción precisa de la órbita seguida por el satélite cuando capturó esas imágenes. Como referencia se utilizó la carta de la Isla de Ross a escala 1:100.000 producida por el IGM a partir de imágenes SOJUZKARTA. Esta carta fue utilizada para la localización de puntos de control para el ajuste de los parámetros que definen el modelo de deformación de las imágenes en cuestión. También se utilizó para digitalizar algunas curvas de nivel y obtener el MNE de la Isla.

Las Figuras 1 y 2 ilustran el proceso de corrección geométrica representando una imagen SAR / ERS-1 antes y después de la corrección.

Otro ejemplo del proceso explicado es la carta 1:250.000 de Cataluña (Franquesa, 1994), en la que se han corregido y combinado hasta catorce imágenes SAR / ERS-1. La realización de esta carta ha supuesto la corrección de los problemas radiométricos que dificultan el mosaico de los diferentes componentes del mapa final.

Fue necesario buscar, para cada imagen, un conjunto de puntos de control para ajustar los coeficientes del modelo. El modelo de elevaciones necesario para la corrección fue extraído de una base de datos de elevaciones con un paso de malla de 15 m y un error RMS inferior a 2,5 m.

La imagen final estaba compuesta por 5 pasadas del satélite con las que se hizo el mosaico. En esta operación es necesaria la acción de un operador que delimita las fronteras sobre las áreas comunes, trazando costuras para cada par de imágenes. Las Figuras 3 y 4 muestran una de las pasadas completa antes y después de la definición de la costura. El proceso restante consiste en formar una imagen tomando todos los valores de gris de la primera de las dos órbitas (la que aparece entera), salvo en los puntos del área común en que la segunda no es negra (puntos distintos de cero).

El mosaico final ha sido publicado por el ICC como un mapa experimental, incluyendo una extensa descripción del proceso realizado y algunos elementos complementarios, que deben facilitar la interpretación de la imagen.

4. LA INTERFEROMETRIA SAR

A la vista de los resultados hemos podido observar que la precisión de la geocorrección es muy dependiente de la calidad del MNE utilizado. De ahí la necesidad de desarrollar técnicas de obtención de MNEs a partir de las imágenes de teledetección disponibles. Una de las técnicas a utilizar es la interferometría con imágenes SAR (INSAR, Interferometría SAR). A su relativo bajo costo se añaden las ventajas que se derivan del uso de los sensores activos: independencia de la iluminación externa y de las condiciones atmosféricas. Se necesitan para ello dos imágenes de una misma escena, tomadas por dos antenas separadas espacialmente (desde satélite) o por dos

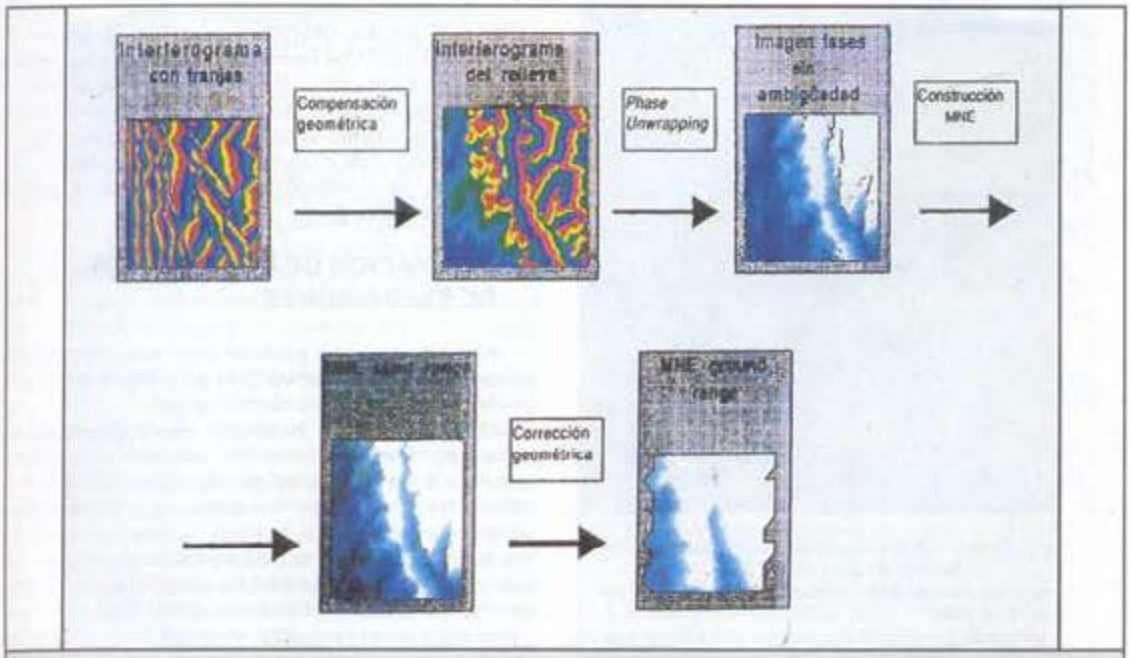


Figura 5: Procedimiento de obtención de Modelos Numéricos de Elevaciones (MNEs) a partir de una imagen de interferencia.

observaciones separadas tomadas con una sola antena (desde avión). Dado que utilizaremos imágenes ERS-1 nos encontramos en el primer caso. Para derivar la información altimétrica se utiliza la fase de la onda y la variación de ésta.

La onda reflejada por el terreno se demodula para eliminar la onda portadora ya que ésta sólo se utiliza para transmisión y recepción y no contiene información útil para interferometría. Después se desdobla en dos componentes I (in-phase) y Q (quadrature-phase). Estas se denominan componentes complejas de la onda. A partir de ellas podemos obtener la intensidad reflejada, que representa la cantidad de energía recibida de cada punto, y la fase, que está directamente relacionada con la distancia de la antena al terreno, y por tanto con la topografía observada. Ahora bien, como la fase varía muy rápidamente con la distancia, es necesario trabajar con pares de imágenes de una zona tomadas desde puntos muy cercanos y estudiar las variaciones de la fase observada. Para ello, normalmente se utilizan pasadas consecutivas por la misma órbita. Debido a las diferentes perturbaciones sobre la órbita, las diferentes pasadas no serán exactamente iguales. Serán próximas y paralelas. Así, con pares de imágenes sobre la misma órbita nominal obtenemos los patrones de interferencia con los que generaremos los modelos de elevaciones.

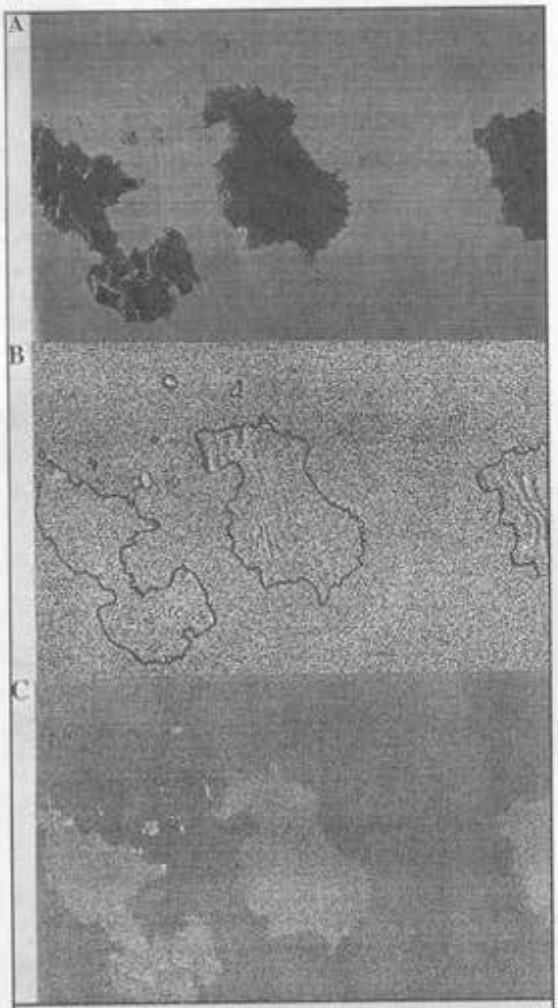


Figura 7: Proceso interferométrico sobre parte de las Shetland del Sur (Antártida).
A: Imagen de intensidades correpondiente al día 3 de Febrero de 1994.
B: Imagen de interferencias de los días 3 y 6 de Febrero de 1994. Línea de base: 18.5 m.
C: Imagen de coherencia entre los días mencionados.

5. EL PREPROCESO DE LAS IMAGENES

Para obtener los patrones de interferencia del área observada, primero hay que registrar entre sí los pares de imágenes. El principal problema con el que nos encontramos es que las imágenes SAR implicadas pueden presentar variaciones. Estas provocan una degradación de la relación entre la diferencia de fase medida y la distancia al punto en el terreno. La degradación puede acontecer por diversas causas:

1. Decorrelación entre las imágenes por cambios de perspectiva.
2. Cambio de posición y/o propiedades físicas de los reflectores.
3. Ruido aditivo asociado a los dispositivos electrónicos.
4. Efectos atmosféricos.

Estos cambios se minimizarán cuanto menor sea la separación temporal entre imágenes. Para medir cuantitativamente dichos cambios se introduce el concepto de coherencia, que mide el grado de correlación entre la señal compleja de ambas imágenes. El módulo de la coherencia variará entre 0 (incoherencia) y 1 (ausencia de cambios). Analizando la coherencia entre puntos de las imágenes implicadas, se puede obtener el registro entre ellas (Castillo y Arbiol, 1994). Consideramos que dos puntos son correspondientes cuando para ellos obtenemos un valor máximo de la coherencia, aunque éste sea muy bajo en función de los cambios que se han producido.

Una vez registradas las imágenes, obtenemos las diferencias de fase generando un patrón de franjas. El aspecto del patrón de franjas obtenido variará en función de la longitud de onda y la separación espacial entre la captación de imágenes de puntos correspondientes (línea de base). La calidad de las franjas de interferencia así obtenidas se puede evaluar generando una imagen con los valores de coherencia para cada par de puntos correspondientes.

6. DERIVACION DE LOS MODELOS DE ELEVACIONES

El procedimiento para obtener los modelos de elevaciones está esquematizado en la Figura 5. En ésta aparecen los principales pasos a seguir.

Una vez obtenida la imagen de interferencias, es necesario eliminar todos los efectos sistemáticos añadidos a las diferencias de fase relacionadas con el relieve. Hay que sustraer los efectos que sobre la fase tienen la esfericidad de la tierra, la desigualdad entre órbitas, cambios de perspectiva y todos aquellos efectos que son más o menos previsibles desde el punto de vista geométrico (Gabriel y Goldstein, 1988). Ésto es lo que denominamos compensación geométrica. Así obtenemos una imagen de interferencias con las franjas causadas únicamente por el relieve.

Debido a la existencia de ambigüedad en la obtención

de la diferencia de fase, hay que reconstruirla para obtener el número de ciclos 2π. Al valor de la fase con ambigüedad lo denominamos valor principal de la fase. Para obtener los valores reales de las diferencias de fase en forma relativa, partimos de un punto arbitrario de la imagen (Prati y col., 1990) y con él obtenemos los valores asociados a los puntos de toda la imagen. El MNE al que darán lugar es relativo al punto considerado como origen. El procedimiento de obtención de los valores reales a partir de los valores principales es conocido como phase unwrapping.

Una vez reconstruidos los valores de las diferencias de fase, se aplica el modelo matemático para obtener las elevaciones del terreno, relativas al punto tomado como referencia en la reconstrucción de las diferencias de fase (Prati y Rocca, 1990; Castillo y Arbiol, 1994). De esta forma se obtiene ya un MNE. Ahora bien, el MNE obtenido está en la geometría SAR original, en slant range. Para que éste sea útil es necesario georreferenciarlo, transformando la geometría del MNE original a una determinada proyección cartográfica sobre el terreno, ground range. Una vez realizado este último paso, ya se dispone del producto final.

7. RESULTADOS

Para la longitud de onda utilizada por el satélite ERS-1, se puede establecer aproximadamente el aspecto de las franjas de interferencia en función de la línea de base. Así, para pequeñas líneas de base (<30 m) aparecerá alguna franja muy ancha, con lo cual se debe esperar poca resolución altimétrica y un efecto importante de los pequeños movimientos del terreno. Para separaciones medias (entre 30 m y 70 m) aparecerán unas pocas franjas y anchas, que implican baja resolución altimétrica y un efecto importante de los cambios del terreno. Para separaciones grandes (entre 150 m y 300 m) se obtiene una buena resolución altimétrica, ya que existe un efecto predominante del relieve. Para separaciones muy grandes (>300 m) aparecen demasiadas franjas muy estrechas que son de imposible tratamiento por desaparición de la resolución en franjas.

Se ha llevado a cabo el proceso interferométrico con imágenes SAR de Cataluña (España) obtenidas por el satélite ERS-1. Para ello se han utilizado dos imágenes obtenidas los días 12 y 15 de Septiembre de 1991 desde órbitas prácticamente paralelas y separadas entre sí unos 168 m. A modo de ejemplo, en la Figura 6 se puede observar una imagen de interferencia obtenida con estas imágenes y el MNE resultante, así como un mapa de errores respecto de un MNE de referencia. Se obtienen así errores del orden de 5 m. en zonas con relieve suave y del orden de 10-25 m. en zonas con relieve abrupto. Como la coherencia entre imágenes es alta, valor medio de 0.7, las franjas están muy definidas. Además, debido al valor de la línea de base, tenemos muy buena resolución altimétrica y aparecen franjas en número razonable para su tratamiento.

A la vista de los resultados obtenidos sobre un área con MNE conocido, nos decidimos a tratar un área remota donde las ventajas de éste tipo de sensor son manifiestas. Así, se ha realizado el proceso interferométrico con imágenes ERS-1 sobre el archipiélago de las Shetland del Sur (Antártida). Las imágenes empleadas se captaron los días 3 y 6 de Febrero de 1994. Las órbitas eran aproximadamente paralelas y muy próximas entre sí, unos 18.5 m. Con esta línea de base es esperable un número muy reducido de franjas y por lo tanto poca resolución altimétrica. En la Figura 7 se pueden observar las imágenes de interferencia (sin contribuciones sistemáticas) y de coherencia.

Si se observa la imagen de coherencia resulta que el mar es totalmente incoherente, ya que de un día para otro presenta un comportamiento radicalmente diferente. Las zonas de casquete glacial aparecen bastante incoherentes debido probablemente a que las condiciones de reflexión cambiaron debido, tal vez, a cambios del material o de la constante dieléctrica, o a la dispersión volumétrica, etc. Sin embargo, las zonas afloradas presentan una coherencia bastante alta. Son zonas de roca descubierta en las cuales las condiciones de reflexión se conservan muy bien. Debido a la coherencia, las franjas de interferencia no aparecen en el mar, en el casquete aparecen poco definidas y con mucho ruido, y en las zonas afloradas aparecen claramente definidas. La baja definición de las franjas, donde aparecen, imposibilita la obtención del MNE. No obstante, se puede hacer algún estudio cuantitativo. Una vez eliminadas las contribuciones sistemáticas de la fase podemos apreciar cuatro franjas de interferencia. Un ciclo de fase corresponde a un incremento en alturas de aprox. 480 m. Sin embargo, según la cartografía existente, la isla tiene en su punto más alto 332 m. Se manifiesta así una fuerte discrepancia entre los datos medidos interferométricamente y los obtenidos por otros medios. Esta discrepancia está causada por fenómenos distintos a la acción del relieve, tales como movimiento del hielo, variaciones de la penetrabilidad de la onda en el hielo, etc.

8. CONCLUSIONES

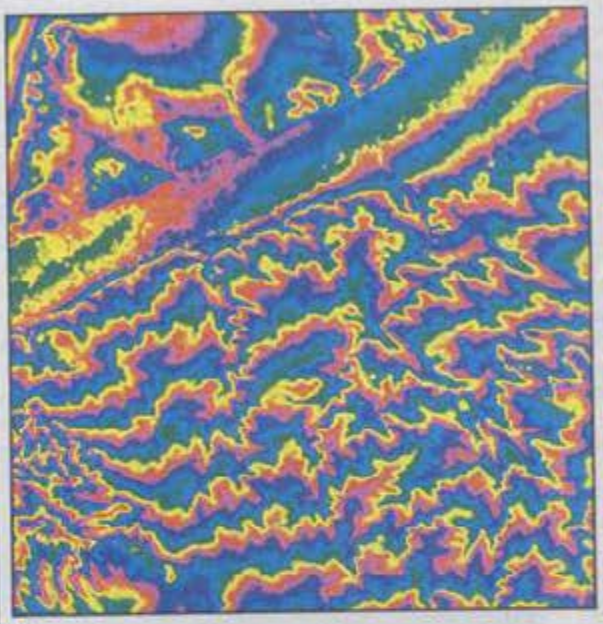
A partir del trabajo realizado con imágenes reales es posible estimar errores del orden de 5 m. en zonas con relieve suave y del orden de 10-25 m. en zonas con relieve abrupto, para valores altos de coherencia.

Los errores obtenidos manifiestan una fuerte dependencia de la corrección geométrica al pasar de slant range a ground range. Las vertientes favorables a la iluminación no dan buenos resultados. Este problema se agrava con la pendiente, provocando que, a partir de cierto límite, ambas vertientes sean intratables debido a los problemas de layover en la ladera favorable a la iluminación y de shadowing en la contraria. Este problema se puede paliar con MNEs obtenidos sobre la misma zona con otra iluminación. Se pueden utilizar, por ejemplo, combinaciones de pares interferométricos obtenidos con órbitas ascendentes y pares obtenidos con órbitas descendentes.

Algunos problemas adicionales encontrados al usar estas técnicas han sido los siguientes:

- Pérdidas de coherencia: Causadas por variación de las condiciones de reflexión de un día para otro: movimiento de los elementos reflectores, variaciones de la constante dieléctrica de los materiales, etc.
- Líneas de base inadecuadas: El número de franjas que aparecen está íntimamente ligado a la separación orbital. Éste repercute en la resolución altimétrica y en la complejidad del procesado.

Estos problemas no pueden ser solventados sin una planificación directa de la captación de imágenes con el fin de realizar interferometría. Es necesario utilizar un rango restringido de líneas de base y una separación temporal lo más pequeña posible.



A

B

C

Figura 6: A: Patrón de franjas obtenido con dos imágenes SAR sobre la cuenca del Ebro (Cataluña) los días 12-15 de Septiembre de 1991. Línea de base: 168 m. B: MNE obtenido en ground range. C: Mapa de errores respecto a un MNE de referencia. Leyenda: tonos negros: 0-10 m; azules: 10-40 m; rojos: 40-100 m; amarillos >100 m.

REFERENCIAS

CASTILLO, M. y ARBIOL R., 1994: **"Obtención de Modelos Numéricos de Elevaciones con Interferometría SAR"**, *Revista de la Asociación Española de Teledetección, 4, en prensa.*

FRANQUESA, C., 1994: **"Realización del mapa de Catalunya a escala 1:250.000 a partir de imágenes del satélite ERS-1"**, *Revista de la Asociación Española de Teledetección, 4, en prensa.*

GABRIEL, A. K. y GOLDSTEIN, R. M., 1988: **"Crossed Orbit interferometry: theory and experimental results from SIR-B"**. *International Journal of Remote Sensing, 9, 857.*

PALA, V.; CORBERA, J. y PEREZ F., 1993: **"ERS-1 / SAR rectification based on orbital and elevation data"**. *GEOSAR Workshop. Loipersdof (Austria).*

PRATI, C. y ROCCA, F., 1990: **"Limits to the resolution of elevation maps from stereo SAR images"**, *International Journal of Remote Sensing, 11, 2215.*

PRATI, C., GIANI, M. y LEURATTI, N., 1990: **"SAR interferometry: a 2-D phase unwrapping tecnique based on phase and absolute values information"**. *Proceedings IGGARS'90, 2043.*

ASPECTOS DE INTERES PARA LA NAVEGACION ANTARTICA INTERPRETADOS A PARTIR DE IMAGENES SAR / ERS-1

Dr. Harald Mehl
Arbeitsgruppe Fernerkundung (AGF)
Intitut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Universität Muenchen, Alemania
Tel: + 49-89-5203 253, Fax: +49-89- 5203 393

Ing. Héctor Salgado
Departamento Meteorología, Servicio de Hidrografía Naval
Armada Argentina - Argentina
Comodoro Py 2055, P.15, 1104 Bs. As.
e-mail:salgado@smara.mil.ar, Fax: +54-1-311 2459

Resumen

Las imágenes SAR poseen la cualidad de resaltar el relieve y consiguientemente resultan aptas para identificar detalles pequeños, como son los obstáculos y peligros para la navegación, que deben ser ubicados en la cartografía náutica.

Esto es especialmente importante en la Antártida, donde los levantamientos costeros son escasos y no muy actualizados, razón por la cual el cubrimiento satelitario con SAR brinda la posibilidad de cartografiar costas, accidentes y obstáculos en forma integral y segura.

En este trabajo se muestra una experiencia realizada en los alrededores de la Isla Amberes, zona de la cual se cuenta con cartografía actualizada, a los fines de tener una base de contraste.

Se determinaron tipos de hielo costero y flotante, aguas libres con oleaje y en calma, islas, islotes, peñascos, rocas, veril de peligro y zonas de rompientes.

Los resultados son interesantes e invitan a proseguir y profundizar los estudios, en procura de lograr un mayor conocimiento de los procedimientos y alcances de la tecnología de microondas satelitarias para complementar la cartografía náutica tradicional.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

INTRODUCCION

El reconocimiento de rasgos de cartografía náutica, oceanográficos y de hielos flotantes, resulta de fundamental importancia para la planificación y operación Antártica (Herland, 1994).

En la República Argentina, las cartas para la navegación son realizadas por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), institución que, en el presente, tiene prevista la tarea de confección o actualización de un conjunto de cartas correspondientes a la Península Antártica y alrededores, de acuerdo a los requerimientos de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) (Fig. 1).

En el extremo SW de la futura Carta Int. 9170 figura el Archipiélago Palmer, al W de la Península Antártica, a los 64° de Latitud Sur y 64° de Longitud W aproximadamente. Está compuesto por numerosas islas, de las cuales la Isla Amberes es la de mayor magnitud, estando acompañada por la I. Brabante, I. Wiencke, I. Doumer y otras de menores dimensiones.

Las costas son en general altas, abruptas, a veces con restinga, con cordones montañosos, entre los cuales se desplazan glaciares, que aportan hielos al mar. Hay presencia de peñascos, rocas que emergen o están permanentemente cubiertas, bajofondos, y otros obstáculos, cuyo monitoreo es de vital interés para la navegación.

Los canales y estrechos (Bismarck, Gerlache, Lemaire, etc.) que rodean las islas, son frecuentemente navegados por buques científicos y, en particular, por el Rompehielos Almirante Irizar (RHAI), en su viaje hacia la Base Gral. San Martín (Lat: 68°08' S; que, generalmente, se realizan desde fines de primavera a principios de otoño, en los meses en que el hielo a la deriva (pack ice) permite su paso.

Dado que las imágenes obtenidas a partir del Radar de Apertura Sintética (SAR) del satélite europeo ERS-1 han demostrado su aptitud en la identificación de rasgos de hielos y detalles útiles para la navegación, algunos Servicios de Ayuda a la Navegación en el Artico actualmente las están utilizando como un elemento para la consulta operativa (Herland, 1994; Manore 1994; Thompson et al., 1994).

A los fines de contar con una base de referencia, se solicitó a la Agencia Espacial Europea (ESA) una imagen de los alrededores de la Isla Amberes, región de la cual se tiene cartografía, la cual se utilizó para contrastar la interpretación, y comprobar así su aptitud como elemento de ayuda a la navegación.

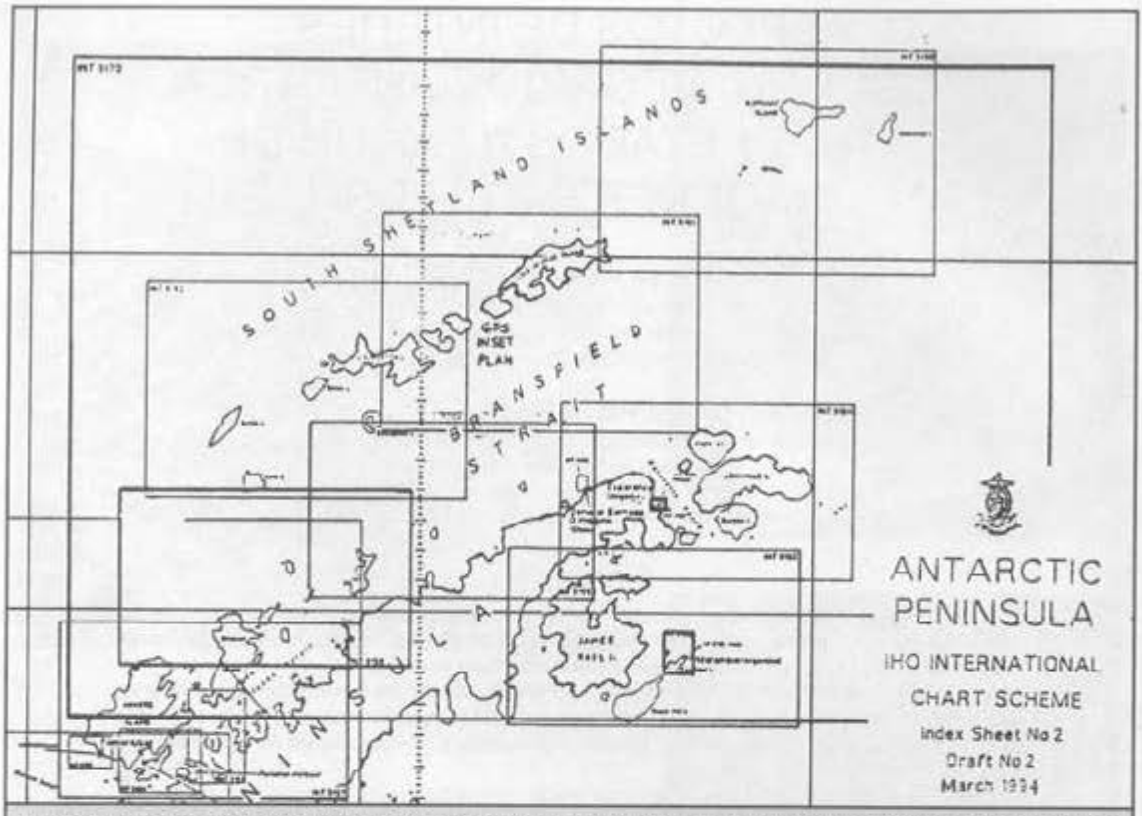


Fig. 1: Sector de la planificación cartográfica antártica de la OHI. En el extremo inferior izquierdo (SW) está la Isla Amberes.

MATERIAL Y PROCESO

La imagen SAR/PRI empleada corrospondo a la órbita descendente 8170, con centro en Lat= 64.705° S y Long= 63.715° W, del verano de 1993, con fecha 6 de Febrero.

El apoyo cartográfico está dado por las Cartas Náuticas H-714 «Archipiélago Palmer» y H-771 «Canales de Peltier y Neumayer» del Servicio de Hidrografía Naval (SHN), Armada Argentina.

Los datos climáticos fueron extraídos de los Mensajes SYNOP, de la Red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) considerando especialmente los observados en la Base Palmer (USA), ubicada al S de la Isla Amberes, a Latitud 64° 46' S y Longitud 64° 05' W.

Como información glaciológica se consideró el mapeo provisto por el NAVY - NOAA Joint Ice Center, Naval Polar Oceanography Center, Suitland, el cual se confecciona en base a información compilada de distintas fuentes (visual, satélites con sensores activos y pasivos, etc).

El proceso de la imagen comprendió 2 etapas: una digital, realizada en el Instituto de Geología General y Aplicada de la Universidad de Munich, Alemania, y una interpretación visual llevada a cabo en el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), Armada Argentina.

La 1ª etapa consistió en la lectura de la imagen, registrada en una cinta "exabyte", y el pasaje de pixeles de 16 a 8 bits, para poder manipularla con mayor comodidad. Luego se aplicaron Filtros para reducción del ruido ("speckle") y mejoramiento general (Adjack, Highpass). El próximo paso fue el remuestreo de los datos de radar de 12,5 a 25 m usando las técnicas de corrección geométrica (vecino más cercano), ya que la resolución de 12,5 m es sintética y no refleja la real resolución espacial de los datos del ERS-1.

A continuación se seleccionaron diversas zonas para el análisis, y se obtuvieron copias fotográficas de las mismas.

La interpretación (2º etapa) se realizó visualmente, teniendo presente toda la información meteorológica, glaciológica y cartográfica indicada anteriormente.

INTERPRETACION

De la imagen completa (Fig. 2b), para esta publicación se eligieron 2 sectores (I y II , correspondientes a las Fig 3 y 4 respectivamente), en los cuales se encuentran los rasgos a determinar:

1.- AGUAS LIBRES (Open Water), que presentan un aspecto dependiente de la rugosidad de su superficie, la cual, a su vez, es función de la intensidad del viento (Liu et al., 1993; Roth, 1994).

Al W de la Bahía Perrier (I. Amberes) se observa un patrón de OLAS, lo cual indica aguas libres de hielo, influenciadas por el viento (Fig. 3b).

La longitud de onda media, medida sobre la imagen, resulta de 150 mts. aproximadamente, y la dirección del tren de olas de 350°.

Estimando la intensidad del viento a partir de algoritmos simplificados (WMO 1988), el valor resultante es significativamente superior al observado en la Base Palmer (10 nudos). Esto podría explicarse por la posición geográfica al reparo de los vientos del

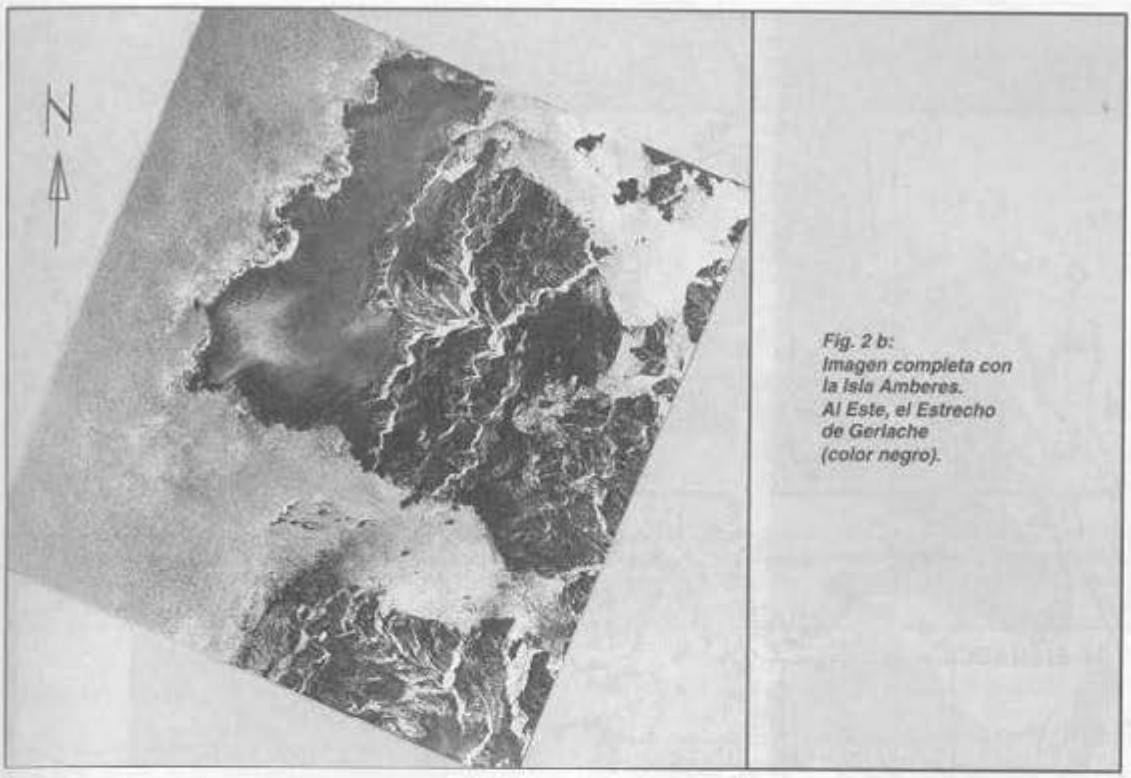


Fig. 2 b: Imagen completa con la Isla Amberes. Al Este, el Estrecho de Gerlache (color negro).

N, que ostenta la Base, lo cual haría que los vientos registrados allí tengan menor intensidad que los de mar abierto (donde se midió la longitud de onda).

En cuanto la dirección, es coincidente perfectamente, dado que se registró un azimut de 350° para la hora (en tiempo medio de Greenwich) de la imagen (12 GMT).

El agua, cuando está en calma, presenta un tono oscuro y homogéneo, debido a su baja retrodispersión causada por la reflexión especular de las microondas (Askne et al., 1993; Ice Center, 1994).

Esto se observa en el Estrecho de Gerlache, al E de la I. Amberes (Fig. 2b), el cual se caracteriza por su posición resguardada de los vientos, lo cual brinda una navegación tranquila por sus aguas.

2.- Diversos tipos de HIELOS FLOTANTES, de origen continental (agua dulce) y marino (agua salada), en las costas, estrechos y canales entre las islas.

Se observan bandejones (Floe), de tamaño medio a vasto, al N del Estrecho de Gerlache, en la zona de transición entre aguas calmas (oscuras) a hielo marino (Fig. 2b).

Disperso por el E. de Gerlache se encuentra escombro (Brash), proveniente de la desintegración de bandejones de hielo marino y de glaciares de la Isla Amberes y alrededores. Presenta un tono claro, gris-blanco, debido a la alta retrodispersión por su textura rugosa (Tuner et al., 1994).

Al E de la Isla Wiencke, sobre el E. de Gerlache, se detecta hielo multianual (Multi Year Ice), en estado avanzado de fusión, que podría clasificarse como "podrido" (Rotten Ice) (WMO, 1970), con patrones de drenaje evidentes (Fig. 2b).

En la costa occidental de la Isla Amberes, en las bahías, el hielo marino permanece adherido a la costa, constituyendo el Hielo Fijo (Fast Ice), de más de 1 año de edad (Old Ice), con tonalidad clara (blanca) por su alta retrodispersión. En la Bahía Perrier (Fig. 3b) se presenta como una banda a lo largo de la orilla, con un ancho de 500 a 1.000 mts.

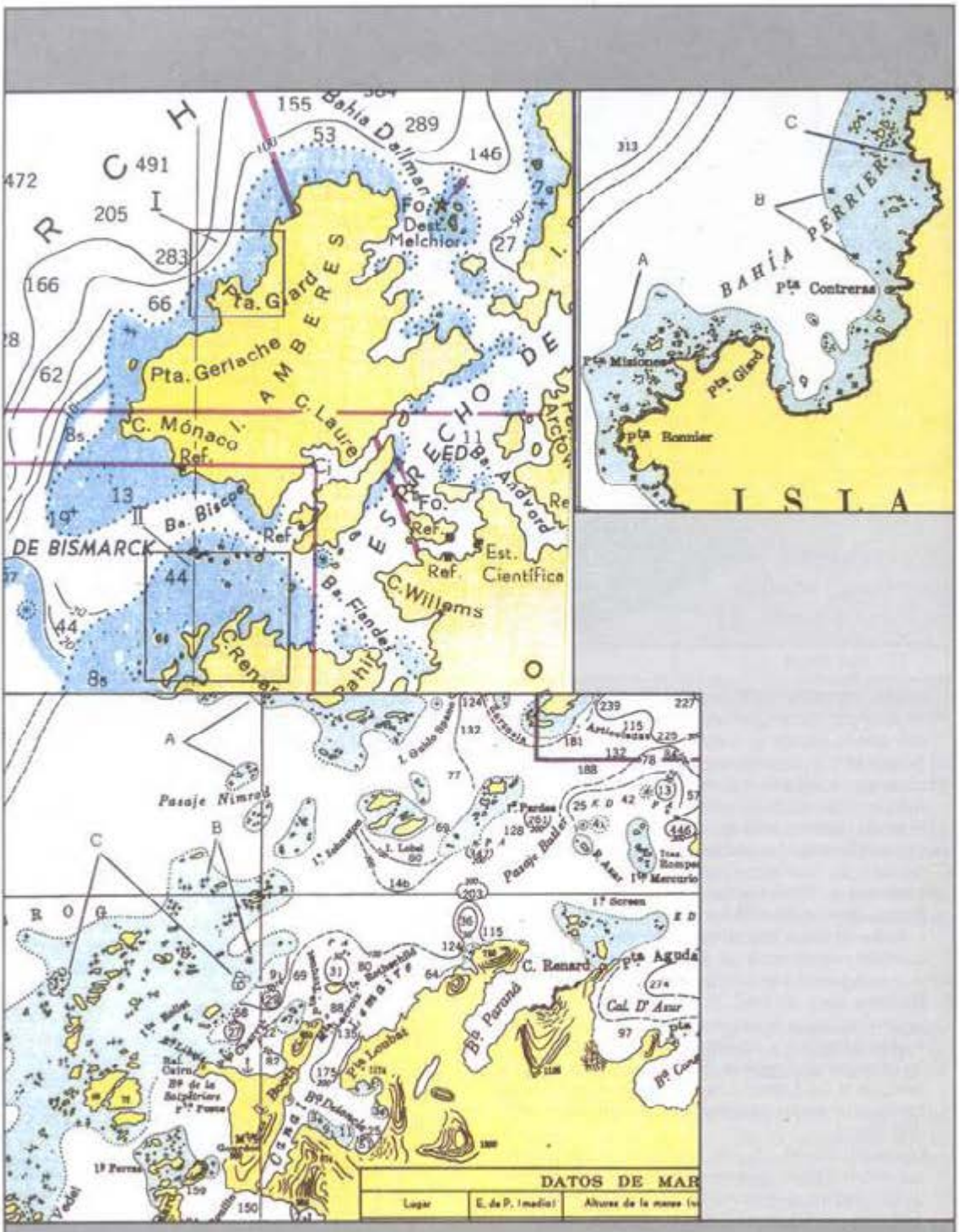
3.- OBSTACULOS a la navegación se han monitoreado en múltiples sectores de la imagen, principalmente en las costas y entre las islas, en los canales y pasajes (Fig. 4b).

Pequeños ISLOTES y ROCAS salientes se detectan fácilmente, presentando en general un tono blanco debido a su geometría anguiosa. En algunos casos pueden confundirse con escombro o tortas (cake) de hielo, lo cual se solucionaría con imágenes multi-temporales.

Algunas islas, de tamaño intermedio y relieve menos quebrado, se muestran más oscuras, probablemente por su cobertura de nieve húmeda (Askne et al., 1993). Esto se explica por las condiciones de fusión, propias del verano, y constatadas por las temperaturas benignas observadas en la Base Palmer en ese período.

EL VERIL DE PELIGRO se muestra como una zona más oscura, por efecto de la menor profundidad y mayor calma de las aguas, presente en las bahías y costas en general. (Fig. 3b y 4b). Comparando las imágenes con la carta (Fig. 3a y 4a), se observa la correlación existente entre ambas.

Las ROMPIENTES de las olas se distinguen claramente dentro del área oscura limitada por el veril de peligro, como una línea continua producida por la cresta de la ola (Fig. 4b). Si se la relaciona con la cartografía náutica (Fig. 4a), se evidencia una extensión mayor que la dibujada en la carta.



2a	3a
4a	

Fig. 2 a: Sector de carta, donde figura la isla Amberes, recuadradas en negro las 2 zonas de estudio (I y II).

Fig. 3 a: Sector de carta con Bahía Perrier. Se distingue el veril de peligro (A), rocas a flor de agua (B) y costa alta abrupta (C).

Fig. 4 a: Sector de carta sector al sur de I. Amberes. Se observa la simbología de veril de peligro (línea punteada con interior de color celeste "A"), rocas ("B") a flor de agua (*) y cubiertas con menos de 1,8 m. de agua (+), y zonas de rompientes ("C"), con pequeños arcos punteados.

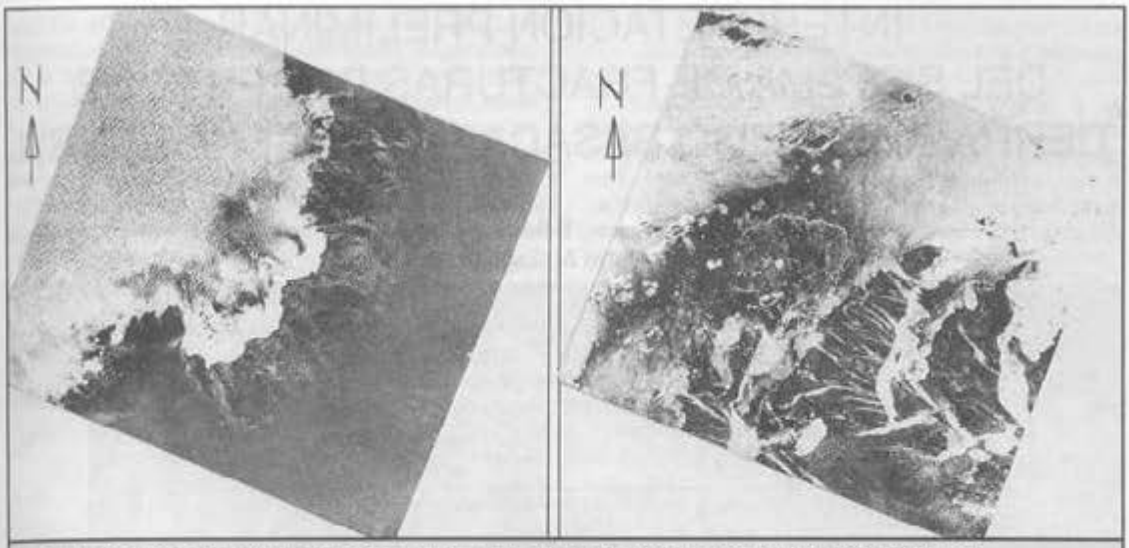


Fig. 3 b: Imagen de Bahía Perrier. Se observa el patron de oleaje y una franja costera de hielo fijo (color blanco).
Fig. 4 b: Imagen de la misma zona que Fig. 4 a. Se distingue la zona limitada por el veril de peligro (tono gris oscuro), las rocas emergentes (puntos blancos), y la rompiente (linea blanca).

CONCLUSION

Como resultado de esta primera experiencia en el reconocimiento de elementos útiles para la navegación y, en particular para la cartografía náutica, surge que las imagenes SAR/ERS-1 son idóneas para tales fines.

No obstante, el hecho de haber contado sólo con una imagen es una limitación para la distincion de algunos aspectos costeros vinculados a factores dinámicos, como por ejemplo la marea.

Sería conveniente la interpretación multitemporal, a partir de imágenes de invierno y verano, ascendentes y descendentes y, en lo posible coincidentes con bajamar. Esto eliminaria la posibilidad de confusión entre distintos elementos que pueden producir idénticos patrones (por ejemplo rocas y escombro varado), o entre iguales elementos que se presentan con distinta retrodispersión (por ejemplo islotes cubiertos con nieve y sin cobertura de nieve).

También se prevé, para el futuro, el procesamiento digital de la imagen, efectuando las correcciones geométricas para poder llevarla a una Proyección Cartográfica adecuada (por ejemplo Mercator), y geoposicionarla, para luego incorporarla a un Sistema de Información Geográfica (SIG).

En efecto, la posibilidad de superponer la imagen de radar sobre la carta náutica tradicional se presenta como una interesante oportunidad de complementación de información y contribución a una visión más integradora, que ayude a la toma de decisiones en el puente del buque.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento al Dr. Helmut Rott (Inst. de Meteorología y Geofísica de la Universidad de Innsbruck, Austria) por sus sugerencias en la interpretación y al Téc. Cart. Alejandro Apostolu (Depto. Hidrografía del Servicio de Hidrografía Naval, Argentina) por su colaboración en toponimia, y muy especialmente a la Agencia Espacial Europea (ESA) por habernos provisto la imagen ERS.

REFERENCIAS

ASKNE J., ULANDER L. M. H., CARLSTROM A., SUN Y. and BIRKELAND D. 1993: **"Validation of ERS-1 / SAR Measurements of Sea Ice during ARTIC -91"**. *Proceedings First ERS-1 Symposium, Cannes, France, ES SP-359, March 1993, pp 289-294.*

HERLAND E. A., 1994: **"Operational Ice Monitoring with ERS-1 / SAR", Space Technology**, *Technical Research Centre of Finland, Earth Observation Quartely, ESA, Nº 45, Sep. 94, pp 6-8.*

ICE CENTER, ANALYSIS and FORECASTING, 1994: **"SAR Ice Interpretation Guide"** *Environment Canada, Atmosphere Environment Service, 1994.*

LIU A. K., PENG C. Y., 1993: **"Waves and Mesoscale Features in the Marginal Ice Zone"**. *Proceedings First ERS-1 Symposium, Cannes, France, pp. 343-348, 1992.*

MANORE M., 1994: **"ERS-1 Sea Ice applications development Activities at the Canada Center for Remote Sensing"**, *Proceedings Second ERS-1 Symposium, Hamburg, Germany, 1994.*

ROTH R., 1994: **"Sea Ice ABD Climate - An Approach using SAR-Data"**, *Proceedings Second ERS-1 Symposium, Hamburg, Germany, 1994.*

THOMPSON T., HAKANSSON B., ULANDER L., CARLSTROM A., 1994: **" The Use of ERS-1 / SAR Data for the Sea Ice Mapping and Icebreaker Operations in the Gulf of Bothnia"**, *Proceedings Second ERS-1 Symposium, Hamburg, Germany, 1994.*

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1988: **"Guía para el Análisis y Pronóstico de las Olas"**, *WMO - Nº 702, Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 1988.*

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1970: **"Nomenclatura de la OMM del Hielo Marino"**, *WMO/OMM/BMO Nº 259, TP. 145, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 1970.*

INTERPRETACION PRELIMINAR DEL SISTEMA DE FRACTURAS DEL ESTE DE TIERRA DEL FUEGO BASADA EN IMAGENES ERS-1

Eduardo B. Olivero[1]; Eduardo C. Malagnino[2] y Domingo A. Gagliardini[3]

(1): Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET), Avda. Malvinas Argentinas s/n; 9410, Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. Fax 54-901-30-644
(2): Centro de Investigaciones en Recursos Geológicos (CIRGEO-CONICET); Ramírez de Velasco 847; 1414 Buenos Aires, Argentina. Fax 54-1-742-7247
(3): CAERCEM (CONICET); Calle Julián Alvarez 1218; 1414 Buenos Aires, Argentina. Fax 54-1-776-0410.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

INTRODUCCION

Los Andes Fueguinos, situados en el extremo austral del continente sudamericano, constituyen una región tectónicamente muy compleja y con características estructurales que lo distinguen del resto de la cadena andina. En contraposición a la orientación meridional de los Andes al norte de Santa Cruz, la orientación del eje de los Andes Fueguinos y de sus principales lineamientos estructurales es dominantemente este-oeste, paralelizando el límite transcurrente entre las placas Sudamericana y de Scotia. Si bien la ubicación de este límite en Tierra del Fuego es muy impreciso, estudios geofísicos de movimientos relativos de placas y de mecanismos focales de terremotos indican que la transcurrencia se puede resolver en la región norte del Arco de Scotia como un movimiento con desplazamiento levógiro, con componentes compresivas (Pelayo y Wiens, 1989). Estudios sobre la evolución estructural de los Andes Fueguinos, realizados en el sector occidental de la isla, han reconocido como rasgos tectónicos muy importantes la presencia de fracturas de orientación E-W, asociadas a fenómenos de transcurrencia con desplazamientos levógiros. Estas fracturas transcurrentes han sido interpretadas como rasgos relativamente modernos, iniciados en el Cenozoico, o como rasgos más antiguos, directrices de la evolución geológica del sector con influencia directa en la apertura de la cuenca marginal del Jurásico superior-Cretácico inferior, en la deformación transpresiva de la región andina y en los cambios paleogeográficos asociados a la separación de Antártida y Sudamérica (Winslow, 1982; Cunnigham, 1993).

Los principales elementos estructurales mencionados han sido estudiados, esencialmente en la región oeste, en el sector chileno de la isla de Tierra del Fuego. En el sector argentino, y especialmente en la región este de la isla, las dificultades de acceso y la falta de una base de representación cartográfica han limitado los estudios geológicos y la información disponible es en la actualidad muy reducida. En tal sentido, la posibilidad de contar con imágenes radar del satélite ERS-1 ha alentado a los autores a realizar una interpretación preliminar de la geología y de la estructura del sector este de Tierra del Fuego. Las imágenes producidas por el Radar de Apertura Sintética transportado por el satélite ERS-1 pueden obtenerse en forma independiente de las condiciones atmosféricas y hora del día. De tal manera, las mismas son una solución para el estudio de regiones con alta frecuencia de días nublados, un rasgo común en Tierra del Fuego, en las cuales las bandas del espectro visible e infrarrojo cercano prácticamente no pueden ser utilizadas.

Los objetivos de este trabajo consisten en brindar los resultados preliminares sobre los principales sistemas de fracturas que caracterizan la región este de Tierra del Fuego, aportando datos concretos que permitan controlar la evolución geológica y tectónica de la región. Estos resultados han sido obtenidos en una transecta de aproximadamente 80 km por 50 km, que se extiende desde la costa atlántica hasta la región del Canal Beagle-Moat, utilizando la imagen radar tomada el día 6 de Septiembre de 1992. El procesamiento de la misma consistió en la generación de una imagen filtrada, partiendo del registro original y utilizando el filtro de Lee de manera de reducir el ruido por efecto "speckle". Este filtro se eligió teniendo en cuenta su alta capacidad de preservar los bordes. Para aplicarlo correctamente se estimó, en primer término, el tamaño de la ventana y la varianza del ruido en distintas áreas seleccionadas por su homogeneidad, calculando para cada una de ellas la desviación media y estándar y el cociente entre ambas.

La interpretación visual se llevó a cabo utilizando la imagen cruda y la imagen filtrada en positivo y negativo. Cada una de ellas contribuyó a resaltar con mayor o menor nitidez los diferentes rasgos de la zona. Los datos y conclusiones obtenidos del análisis de la imagen radar fueron controlados posteriormente en el campo, especialmente en la zona de mayor facilidad de acceso, en los límites norte y sur de la faja estudiada.

MARCO GEOLOGICO REGIONAL

Los Andes Fueguinos comprenden, de sur a norte, tres elementos fisiográficos importantes que, en general, reflejan la distribución de las principales unidades geológicas y dominios tectónicos. Al sur, el archipiélago

fueguino o Cordillera de la Costa constituye el eje del arco magmático del Mesozoico y Cenozoico desarrollado sobre un zócalo de rocas posiblemente paleozoicas, fuertemente deformadas. En el medio, la Cordillera Central comprende un complejo fuertemente deformado de rocas del basamento y su cobertura del Jurásico-Cretácico, la que se compone de rocas volcánicas ácidas (Formación Tobífera o Lemaire), rocas básicas ofiolíticas, pizarras y areniscas de ambiente marino profundo (Formación Yahgán). En el norte, la Cordillera Marginal comprende rocas clásticas marinas del Cretácico superior-Cenozoico (Kranck, 1932; Dalziel et al., 1974).

La evolución tectónica del área está ligada a los siguientes eventos principales: desarrollo de un complejo acrecional paleozoico sobre el margen pacífico del continente; desarrollo de un arco magmático en el Jurásico?-Cretácico; extensión y apertura de una cuenca marginal entre el arco y el cratón, rellena parcialmente con

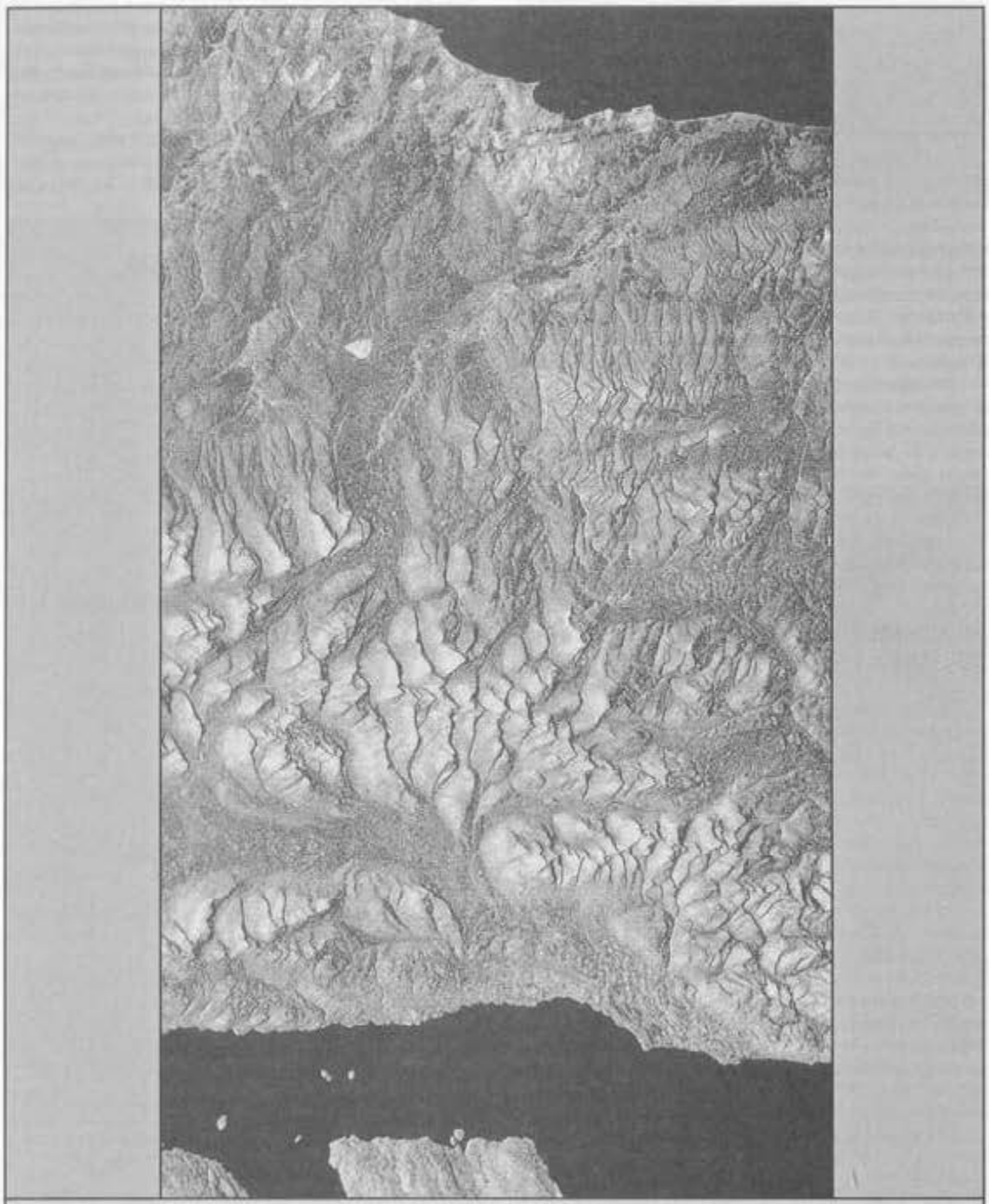


Figura 2: Imagen radar ERS-1

Figura 1: Mapa de ubicación y localización de la imagen radar

la Formación Tobífera, el complejo ofiolítico y la Formación Yahgán; inversión tectónica y cierre de la cuenca marginal en el Cretácico; levantamiento de la región central andina y formación de una cuenca de antepaís que continúa evolucionando en el Cretácico superior y Cenozoico (Dalziel, et al., 1974; Winslow, 1982).

El evento de deformación compresiva involucrado en el cierre e inversión tectónica de la cuenca marginal produce el plegamiento apretado, convergencia hacia el norte y el desarrollo de una esquistosidad regional de plano axial en las unidades del Jurásico superior-Cretácico inferior. Las rocas del Cretácico superior-Cenozoico, depositadas al pie de la cordillera en levantamiento, constituyen una faja deformada, con pliegues más abiertos relacionados con corrimientos, que caracterizan y definen a la cuenca de antepaís.

PRINCIPALES UNIDADES GEOLOGICAS DEL AREA ESTUDIADA

Las unidades geológicas de la región andina presentes en el área estudiada se agrupan informalmente en este trabajo a los efectos descriptivos en tres unidades principales (Figura 3). La unidad más antigua, referida al Cretácico inferior alto, está constituida mayormente por areniscas y pizarras que afloran en el sector sur y particularmente sobre la costa del Canal Beagle-Moat. La unidad de edad intermedia (Cretácico superior-Paleogeno) está constituida por una asociación recurrente de fangolitas, areniscas y conglomerados, que afloran en el sector norte y central del área estudiada. La unidad más joven (Cenozoico) se compone de fangolitas y areniscas y está expuesta únicamente en un pequeño sector en el extremo norte del área reconocida (Figura 3). Cabe aclarar que en esta agrupación informal no se han diferenciado los depósitos más modernos, como la cobertura de depósitos glaciarios presentes esencialmente en la cuenca del río Moat en el sector sur y en la continuación este de la depresión del lago Fagnano, en los sectores central y norte.

Las areniscas y pizarras del sector sur caracterizan la continuación hacia el este de la Cordillera Central de los Andes Fueguinos, incluyendo parcialmente a las sierras de Alvear y de Lucio López. Constituyo el área de mayor relieve topográfico, con alturas máximas en el orden de los 1.000 metros sobre el nivel del mar, rasgo que se expresa en la imagen radar por el mayor efecto de distorsión geométrica del relieve. En los lugares donde se ha realizado control de campo, especialmente en la zona del cerro Non Top y costa del Canal Beagle-Moat, esta unidad consta de una espesa secuencia de pizarras negras bandeadas con alternancias de paquetes espesos de areniscas, plegados y con fuerte esquistosidad. Desde el punto de vista sedimentológico, la mayoría de los bancos presentan estructuras de gradación normal con todas las características de depósitos formados por corrientes de turbidez. Estructuralmente, estas rocas se caracterizan por poseer una marcada esquistosidad, orientada E-W y con fuertes inclinaciones al S. La esquistosidad está asociada y es subparalela con los planos axiales de pliegues apretados y buzantes al ESE.

Los rasgos descritos de la asociación litológica y de la estructura son muy semejantes a los que son característicos para la Formación Yahgan, unidad referida

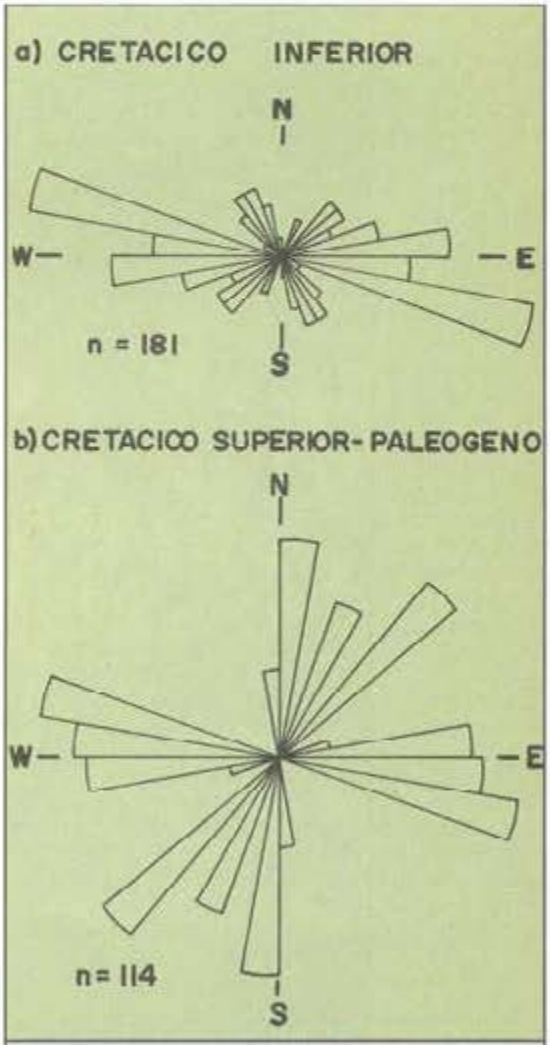


Figura 4: Diagramas de rosa de frecuencia acumulada de segmentos de fracturas de longitud superior a 2 km, con intervalos de 10°
a): Cretácico inferior, sector sur;
b): Cretácico superior-Paleogeno, sectores central y norte

mayormente al Cretácico inferior e interpretada como depósitos marinos profundos de la cuenca marginal (Olivero y Martinioni, en prensa). Los rasgos estructurales mencionados (esquistosidad y plegamiento), registrarían el principal evento de deformación asociado a la etapa de cierre e inversión tectónica de la cuenca marginal. Los afloramientos situados al norte del cerro Non Top no han sido visitados; en la imagen radar este sector presenta características similares a la región costera, incluyendo presumiblemente rocas semejantes, aunque no se descarta la presencia de rocas volcánicas ácidas, referibles a la Formación Tobífera o Lemaire.

La unidad de fangolitas, areniscas y conglomerados aflorantes en el sector norte corresponden en su mayor parte a la continuación oriental de la faja de sedimentos marinos del Cretácico superior-Cenozoico de la Cordillera Marginal. Este rasgo orográfico se caracteriza por serranías elongadas en dirección E-W, cubiertas casi totalmente por el bosque y con alturas máximas que raramente superan los 300-400 m sobre el nivel del mar. En el sector expuesto sobre la costa atlántica (Figura 3), esta unidad comprende a las fangolitas y areniscas de la Formación Leticia (Eoceno), correlacionable por sus rasgos litológicos y asociación de microfósiles con el Glauconítico B y la Formación Margosa del subsuelo de Tierra del Fuego (Malumián et al., 1994). La Formación Leticia comprende una espesa sucesión de secuencias de fangolitas y areniscas marinas que se disponen según un arreglo recurrente, grano y estratocreciente, con espesores que en total superan los 1.500 metros (Olivero y Malumián, en preparación). La estructura característica es de anticlinales y sinclinales asimétricos, buzantes hacia el ENE y con longitudes de ondas del orden de 2-5 kilómetros. Los pliegues principales generalmente están limitados por fallas inversas de ángulo bajo (corrimientos), en conformidad con la típica estructura de la faja plegada y corrida de la Cordillera Marginal (Winslow, 1982). Al sur del sector de la costa atlántica, el resto de los afloramientos incluidos en esta unidad se identifican tentativamente con las unidades definidas por (Furque y Camacho, 1949) como Estratos de Policarpo (Cretácico superior) y Estratos del Río Bueno (Paleoceno). Estos afloramientos no han sido visitados, pero la continuación de los mismos en las serranías que se exponen entre el límite oriental de la imagen radar y la región de Policarpo-Bahía Tethis, estudiados por uno de los autores (E.D.O.), muestran los rasgos esenciales descritos para los estratos de Policarpo y Río Bueno por (Furque y Camacho, 1949). La litología dominante consta de fangolitas, areniscas, conglomerados, coquinas y calcareos impuros y la estructura es semejante a la descrita para la Formación Leticia.

Colectivamente, las rocas de la unidad expuesta en el sector central y norte corresponden a los depósitos marinos del Cretácico superior-Paleogeno de la faja corrida y plegada situada sobre el flanco norte de la región andina. Esta faja constituye uno de los rasgos geológicos esenciales de la cuenca de antepaís, formada durante las etapas finales del cierre e inversión tectónica de la cuenca marginal, que se caracteriza por la propagación de corrimientos con empujes desde el sur, ocasionados por el progresivo levantamiento a lo largo del eje de la región andina.

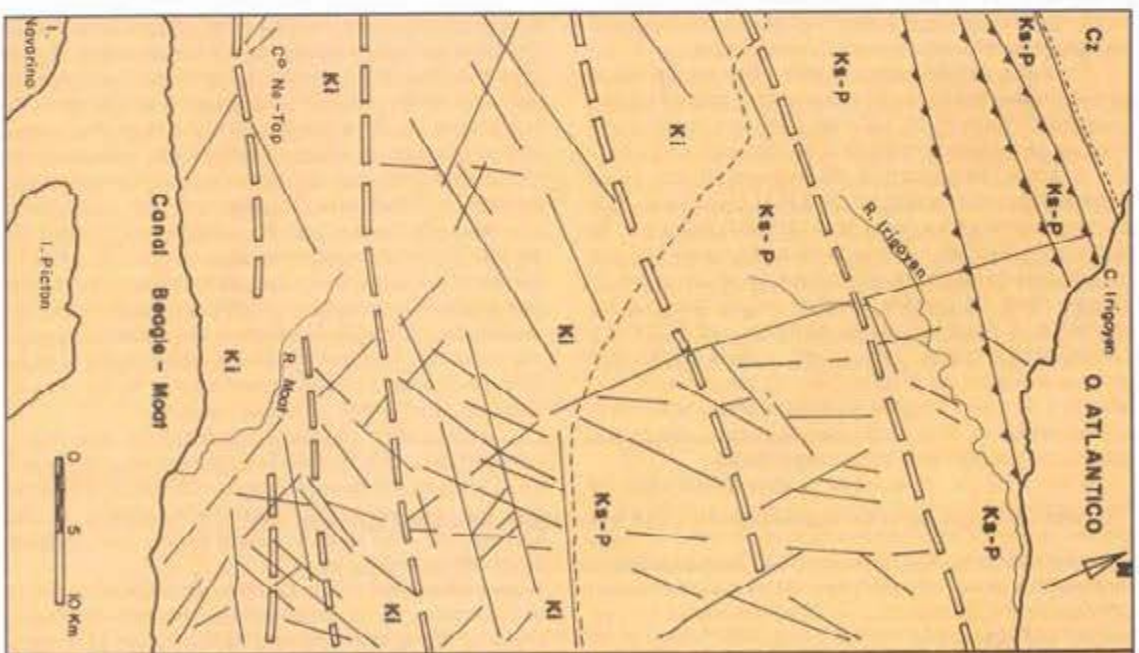


Figura 3: Mapa de lineamientos

La unidad más joven consta esencialmente de bancos subhorizontales de fangolitas y areniscas que se exponen sobre la costa en el extremo norte de la imagen estudiada. Por la litología y rasgos estructurales de capas subhorizontales, se los asigna tentativamente a los depósitos terciarios más jóvenes, tradicionalmente incluidos en el "Magallanense" y mejor expuestos en la región atlántica situada al norte de la imagen estudiada.

RASGOS PRINCIPALES OBSERVADOS EN LA IMAGEN RADAR ERS-1

De las unidades descritas, la unidad más antigua expuesta en el sector sur de la imagen presenta características distintivas de mayor reflejo, caracterizadas por tonalidades superficiales muy claras, que permiten una fácil identificación de la misma (Figura 2). Si bien esta unidad presenta un fuerte contraste litológico y estructural con las unidades más modernas, es probable que la mayor intensidad del reflejo está condicionada principalmente por las mayores alturas presentes en este sector, las cuales, a su vez, condicionan el desarrollo de la cubierta vegetal. Gran parte del relieve de este sector se sitúa por encima del límite altitudinal de vegetación, que en esta región de Tierra del Fuego se ubica aproximadamente entre los 500-600 m de altura, por lo que la falta de cubierta vegetal resultaría en un mayor reflejo de la superficie. En tal sentido cabe destacar que el único sector de la unidad intermedia que presenta características semejantes de reflejo —el sector de forma rectangular ubicado sobre la costa atlántica (Figura 2)— corresponde según el control de campo realizado a un área en la cual la cubierta vegetal ha sido eliminada por un incendio del bosque.

Entre los rasgos estructurales observables en la imagen radar se destacan lineamientos asociados con fracturas (Figuras 2 y 3); entre ellos son muy notorios una serie de lineamientos orientados en dirección E-W y N-S. Un análisis comparativo de expresión de estos lineamientos con una imagen LANDSAT disponible y que cubre el mismo sector (tomada el 14/11/84) indica que en la imagen LANDSAT los lineamientos orientados N-S son más difíciles de detectar o directamente no se aprecian. La imagen radar no permite apreciar rasgos que puedan asociarse al desarrollo de la esquistosidad regional y plegamiento apretado, característicos de la unidad más antigua expuesta en el sector sur. El plegamiento más abierto y de mayor longitud de onda, característico de la unidad expuesta en el sector central y norte, sólo puede apreciarse parcialmente en la imagen radar.

A los fines de caracterizar el sistema principal de fracturación del sector se realizó una interpretación visual de los principales lineamientos presentes en una impresión blanco y negro de la imagen (Figura 3). Sobre la misma impresión se volcaron los límites entre las principales unidades geológicas descritas más arriba y se realizó una estadística de los principales lineamientos observados en cada unidad. Dada la escasa superficie de afloramientos de la unidad más joven, el análisis realizado solamente ha resultado en un número suficiente de lineamientos en las dos unidades geológicas más antiguas. A los efectos de discriminar la frecuencia y el orden de magnitud de los distintos lineamientos, la estadística de datos se realizó dándole un peso a la longitud relativa de expresión superficial de cada lineamiento. Para ello se contabilizaron en los lineamientos observados el número de segmentos de longitud superior a 2 km de expresión superficial con intervalos de 10º. Los datos obtenidos en cada unidad se plotearon por separado en un diagrama de rosa (Figuras 4a-b).

Los resultados de este análisis indican que cada una de las dos unidades más antiguas se caracterizan por presentar lineamientos con orientaciones y magnitudes relativas distintivas. En el sector sur, las pizarras y areniscas del Cretácico inferior presentan tres direcciones principales de lineamientos: E-W; NE-SW y NW-SE. De ellos, los lineamientos orientados en dirección E-W son los de mayor magnitud (Figura 4a). En los sectores central y norte, las fangolitas y areniscas del Cretácico superior-Paleogeno, también presentan tres lineamientos principales, pero orientados en dirección E-W; N-S y NE-SW. En este caso, el orden de magnitud de cada una de estas direcciones es semejante (Figura 4b).

INTERPRETACION PRELIMINAR DE ESTRUCTURAS LINEALES

Con el objeto de realizar una evaluación preliminar de las posibles estructuras evidenciadas por los lineamientos detectados se efectuó un estudio de campo de parte de los mismos, tanto dentro del área cubierta por la imagen radar como, por razones de acceso, también fuera del área cubierta pero en lineamientos continuos con los detectados en la imagen.

En la unidad más antigua expuesta al sur (Cretácico inferior), parte de los lineamientos mayores orientados E-W, especialmente los situados inmediatamente al N y al S del Cerro No-Top, se reflejan en el campo por una zona de ancho variable con marcada deformación, caracterizada por fajas de milonitas orientadas en forma subparalela a los lineamientos. El lineamiento más austral parece continuarse con la extensa lineación del valle de Tierra Mayor-Lashifasaj, que corresponde a un importante rasgo tectónico, probablemente originado por fallas transcurrentes con desplazamiento levógiro. Los lineamientos de esta unidad orientados en dirección NW-SE y NE-SW corresponden un denso retículo de fracturas subverticales que definen bloques rectangulares, con dimensiones variables entre 1-2 m y 0,5-2 kilómetros. Las fracturas menores corresponden, en su mayor parte, a diaclasas. Parte de las fracturas mayores corresponden a fallas de alto ángulo, con desplazamientos verticales variables.

Los estudios de campo evidencian que los lineamientos E-W de la unidad expuesta en el centro y norte de la imagen (Cretácico superior-Paleogeno) involucran dos tipos de estructuras: fallas transcurrentes y fallas inversas de bajo ángulo (corrimientos) con empujes dirigidos hacia el norte.

En el primer caso, la más importante de estas estructuras está definida por el lineamiento situado inmediatamente al sur del valle del Río Irigoyen. La misma constituye un extenso rasgo tectónico lineal que se puede seguir desde el Lago Fagnano hasta la costa atlántica. La observación de campo de este lineamiento, tanto en la margen norte del Lago Fagnano, en las cercanías del Río Claro, como en la costa atlántica, en las cercanías del Cabo Leticia, indica que el mismo está asociado a una faja de deformación y cizallamiento de ancho considerable, variable entre 1 km y 4 km, asociada con intensa fracturación,

brechamiento tectónico y abundante inyección de venas de cuarzo y calcita. No ha sido posible obtener evidencia de desplazamiento relativo de bloques, pero es muy probable que esta fractura corresponda, por su ubicación y magnitud, al juego de fallas transcurrentes levógiras asociados a la importante Falla de Magallanes, que según (Winslow, 1982) puede ser trazada en dirección E-W a lo largo de una distancia de aproximadamente 600 km.

El segundo tipo de lineamiento E-W, correspondiente a fallas inversas de bajo ángulo, ha sido estudiado en la zona inmediatamente al norte del Río Irigoyen. En este sector, tres corrimientos importantes, que afectan a la Formación Leticia, se encuentran expuestos en la zona del Cerro Colorado, en el arroyo El Vasco y en el Cabo Irigoyen. Los dos primeros limitan los limbos de un anticlinal asimétrico, buzante hacia el oeste y el tercero provoca la repetición y superposición de niveles estratigráficos inferiores sobre el horizonte correlacionable con el Glauconítico B de la Formación Leticia. En el terreno estos lineamientos corresponden a zonas fracturadas, caracterizadas por un denso sistema de fallas inversas inclinadas hacia el sur, de ángulo bajo o aún subhorizontales. El sentido de desplazamiento de bloques y los pliegues de arrastre asociados, indican claramente empujes dirigidos de sur a norte. Al norte del Cabo Irigoyen, otra fractura orientada E-W pone en contacto a la Formación Leticia con las capas subhorizontales del "Magallanense". En este último caso no se ha podido interpretar si la misma corresponde también a un corrimiento o a una fractura subvertical.

Los lineamientos orientados N-S que afectan a la unidad expuesta en los sectores central y norte que se indican en la Figura 3, no han sido estudiados en el campo. Sin embargo, fracturas de orientación semejante (N-S y NE-SW), no detectables en la imagen radar, han sido observadas sobre la costa atlántica. Parte de ellas corresponden a fallas subverticales, con aparentes desplazamientos horizontales dextrógiros, del orden de 1-2 metros. Los mismos podrían corresponder a sistemas antitéticos conjugados de las fallas transcurrentes mayores, aunque es necesario un estudio más detallado de indicadores cinemáticos para controlar esta posibilidad. Otras fracturas de orientación semejante corresponden tanto a fallas inversas de ángulo relativamente alto y a fallas directas.

CONCLUSIONES

Las características climáticas y de posición geográfica de Tierra del Fuego, que resultan en una frecuente cobertura de nubes y en períodos prolongados de reducida incidencia solar, ocasionan dificultades importantes para la obtención e interpretación de imágenes ópticas. En tal sentido, las imágenes radar del ERS-1 ofrecen una herramienta de interpretación geológica muy importante. Esto se aplica muy especialmente a la región de menor relieve del sector central y oriental de la isla. En el sector austral, el mayor relieve relativo de la región provoca distorsiones geométricas de la superficie; no obstante aún en este caso la imagen radar procesada ha brindado importante información estructural.

La observación de una imagen radar ERS-1, que cubre una transecta de aproximadamente 80 km por 50 km entre la costa atlántica y el Canal Beagle-Moat, ha permitido diferenciar unidades geológicas mayores y los principales lineamientos estructurales del área. El análisis y ploteo de la dirección y magnitud de expresión superficial, en intervalos de 10°, de estos lineamientos y su posterior estudio de campo han permitido identificar las siguientes estructuras:

a) fracturas orientadas E-W, de magnitud mayor que pueden ser interpretadas como parte del sistema de fallas transcurrentes, con probable desplazamiento levógiro, y que afectan tanto a las rocas del Cretácico inferior como a las del Cretácico superior-Paleogeno

b) fracturas orientadas E-W, de magnitud importante aunque inferior a las anteriores, que corresponden a fallas inversas de bajo ángulo (corrimientos), que afectan principalmente a las rocas del Cretácico superior-Paleogeno de la faja plegada y corrida de la cuenca de antepais.

c) fracturas menores orientadas NW-SE y NE-SW, que corresponden a diaclasas y fallas verticales que definen bloques rectangulares con desplazamientos relativos variables en las rocas del Cretácico inferior.

d) fracturas importantes orientadas NS, con desviaciones al E y W, desarrolladas principalmente en las rocas del Cretácico superior-Paleogeno. Comprenden fallas verticales, con posibles desplazamientos horizontales dextrógiros, que podrían corresponder a un sistema antitético conjugado del fallamiento transcurrente E-W y fallas directas subverticales y fallas inversas de ángulo alto.

BIBLIOGRAFIA

CUNNIGHAM, W. D., 1993. **Strike-slip faults in the southernmost Andes and the development of the Patagonian orocline.** *Tectonics, 12 (1): 169-186.*

DALZIEL, I. W. D., M. J. DE WIT, and K. F. PALMER, 1974. **Fossil marginal basin in the southern Andes.** *Nature, 250: 291-294.*

FURQUE, G. y CAMACHO, H. H., 1949. **El Cretácico superior de la costa atlántica de Tierra del Fuego.** *Revista de la Asociación Geológica Argentina, 4 (4): 263-297.*

KRANCK, E. H. 1932. **Geological investigations in the Cordillera of Tierra del Fuego.** *Acta Geographica, 4(2): 1-231. Helsinki, Finland.*

MALUMIAN, N., OLIVERO, E. B. y CONCHEYRO, A., 1994. **Eocene microfossils from the Leticia Formation, Tierra del Fuego Island, Argentina.** *Ameghiniana 31 (4): 398.*

OLIVERO, E. B. y MARTINIONI, D. R., en prensa. **Late Albian inoceramid bivalves from the Andes of Tierra del Fuego: Age implications for the closure of the Cretaceous marginal basin.** *Journal of Paleontology, en prensa.*

PELAYO, A. M. y WIENS, D. A., 1989. **Seismotectonics and relative plate motions in the Scotia sea region.** *Journal of Geophysical Research, 94 (B6): 7293-7320.*

WINSLOW, M. A., 1982. **The structural evolution of the Magallanes Basin and neotectonics in the southernmost Andes,** *p. 143-154. In C. Craddock (ed.), Antarctic Geoscience. The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin.*

INVESTIGACIONES COMPARATIVAS DE SENSIBILIDAD CLIMATICA Y DINAMICA DE GLACIARES EN ANTARTIDA, PATAGONIA Y LOS ALPES

Pedro Skvarca[1], Helmut Rott[2], Heinz Miller[3]

[1] *Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248, 1010 Buenos Aires, Argentina*
Tel: (54.1) 812.1689, Fax: (54.1) 812.2039
[2] *Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck,*
Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Austria
Tel: (43.512) 507.5451, Fax: (43.512) 507.2924
[3] *Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung*
D-27515 Bremenhaven, Alemania
Fax: (49.471) 483.1149

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

INTRODUCCION

Este proyecto de índole interhemisférica, aprobado por la Agencia Europea del Espacio (ESA) y financiado por las instituciones científicas de los tres países involucrados, encara investigaciones glaciológicas relacionadas con la sensibilidad climática y dinámica de glaciares en cuatro zonas climáticas diferentes. Los estudios se basan en datos adquiridos por los Satélites Europeos de Percepción Remota ERS-1 y ERS-2 y en datos de validación terrestre.

Investigador Principal del experimento: H. Rott;

Co-Investigadores: P. Skvarca y H. Miller.

Los glaciares y las sabanas de hielo son importantes indicadores de las variaciones climáticas. A su vez las masas de hielo polar influencian en gran medida la circulación atmosférica y oceánica. Por ello, una mejor información sobre el balance de masa y dinámica de las sabanas de hielo y glaciares en varias zonas climáticas resulta de gran interés para el monitoreo e investigación del clima. Por lo inaccesible de las zonas polares y la frecuente nubosidad sobre áreas glacianas el sistema Radar de Apertura Sintética (SAR) representa un gran potencial para monitorear y mapear desde el espacio los glaciares de todo el mundo. El SAR es especialmente útil para monitorear aquellos glaciares y barreras de hielo que exhiben cambios rápidos (Rott et al., 1988, 1994; Rott y Strobl, 1992). Además SAR es altamente sensible a las propiedades físicas de la nieve y el hielo, tal como ya fuera demostrado con datos del ERS-1 (Rott y Nagler, 1993; 1994)

El objetivo del proyecto conjunto es mejorar el conocimiento de las interacciones entre el clima, balance de masa y flujo de hielo en zonas glaciarias seleccionadas donde las instituciones intervinientes ya realizaron diversos estudios glaciológicos y planifican otros para el futuro en conexión con la propuesta. Las investigaciones se basan en datos ERS AMI (Instrumento Activo de Microondas) en Modo Imagen SAR, complementados con datos de terreno. La adquisición de imágenes ópticas de áreas estudiadas se halla muy reducida por la frecuente nubosidad y escasas condiciones lumínicas. Pero de ser disponibles imágenes LANDSAT TM, SPOT y KOSMOS, éstas serán utilizadas en sinergia con las imágenes SAR.

AREAS DE INVESTIGACION

Las investigaciones abarcan los Hemisferios Norte y Sur. Los glaciares seleccionados para el estudio están ubicados en tres continentes distintos (Europeo, Sudamericano y Antártico) y en cuatro zonas climáticas diferentes:

ZONA 1: Sitio de prueba Ötztal, Alpes Centrales, Austria.

Esta región (Fig. 1) se halla ubicada en zonas templadas de latitudes medias (~ 47° N), con una precipitación anual promedio de 1500 mm sobre los glaciares. La altura media de la línea de equilibrio (ELA) es de 3000 m s.n.m. y el tamaño de los glaciares a investigar es del orden de varios km² (Rott, 1993). Los Alpes Austríacos tienen 925 glaciares, con una superficie de 540 km². Las mediciones anuales de las posiciones terminales de más de 100 glaciares, llevadas a cabo desde hace muchas décadas, indican un período prolongado de retroceso glaciario entre 1930 y 1964. Las mediciones de terreno señalan una disminución de retroceso y un creciente número de glaciares en avance desde 1965 a 1980 (casi 60 % entre 1975 y 1981). Luego de 1981 se incrementa el número de glaciares en estado de retroceso (más de 90 % desde 1990). Los veranos de la década del 90 fueron extraordinariamente cálidos, con escasa precipitación de nieve en los glaciares, parámetro muy importante para la preservación de los mismos.

Las principales actividades del experimento ERS para este sitio de prueba tienen como objeto avanzar más en los métodos y aplicaciones del SAR, e incluyen:

a. Modelamiento de fusión nival y escurría glaciar durante una estación de fusión en base a datos SAR/ERS-1 con intervalos de 18 días y en mediciones de terreno.
b. Investigaciones de capacidades interferométricas del SAR (topografía, velocidades de hielo), basadas en datos ERS/SLC (Single Look Complex Image) de un período invernal, en conexión con mediciones prolongadas de terreno.
c. Investigaciones comparativas sobre la sinergia de imágenes SAR multiparámetro del SIR-C/X/SAR, ad-

quiridas sobre este sitio de prueba durante 2 vuelos del Transbordador Espacial en 1994, con imágenes multitemporales ERS/SAR para la clasificación de los principales tipos de superficie en terreno alpino.

ZONA 2: Hielo Patagónico Sur (HPS), Argentina/Chile

El Hielo Patagónico Sur cubre un área de ~ 13000 km². Este campo de hielo se extiende desde los 46.3° S, de Norte a Sur a lo largo de ~ 350 km y constituye el cuerpo de hielo de mayor extensión en el Hemisferio Sur, exceptuando Antártida. Sus glaciares efluentes (Fig. 2) representan las condiciones temperadas más típicas del planeta por las altas tasas anuales de precipitación y ablación (Naruse y Aniya, 1992). Según (Aniya y Skvarca, 1992), la altura de la línea de equilibrio (ELA) de los glaciares Upsala y Moreno oscila alrededor de los 1150 m s.n.m. Estudios recientes (Aniya et al., 1992) indican un retroceso general en la mayoría de los grandes glaciares de descarga del HPS. Algunas excepciones son el Glaciar Moreno que se halla actualmente en estado de equilibrio y el Glaciar Brüggen o Pío XI que avanza. A causa de las condiciones climáticas extremas y difícil acceso a las zonas interiores del campo de hielo los datos glaciológicos básicos de los glaciares Patagónicos son aún muy escasos. Por dichas razones el SAR representa un sensor óptimo para los estudios glaciarios en esta región.

Los glaciares a investigar tienen áreas de drenaje de varios centenares de km². Este sitio de prueba comprende las siguientes actividades:

a. Evaluación de límites glaciarios, morfología de nieve, rasgos de flujo sobre principales glaciares del HPS y determinación de cambios temporales basados en imágenes ERS/SAR.
b. Análisis de la línea de equilibrio al término de los años balance masa.
c. Análisis del movimiento en glaciares seleccionados con técnicas de rastreo y posiblemente mediante interferometría.
d. Análisis de límites de áreas de drenaje glaciar en la parte central del campo de hielo y análisis topográfico, en base a indicadores de forma del ERS/SAR, interferometría SAR (dadas condiciones adecuadas de nieve), en comparación con SIR-C/X-SAR estéreo.

Cabe mencionar que las misiones espaciales SIR-C/X-SAR de Abril y Octubre 1994 han tomado con éxito imágenes SAR polarimétricas de los glaciares Viedma y Moreno, las que serán utilizadas en sinergía con las imágenes ERS/SAR.

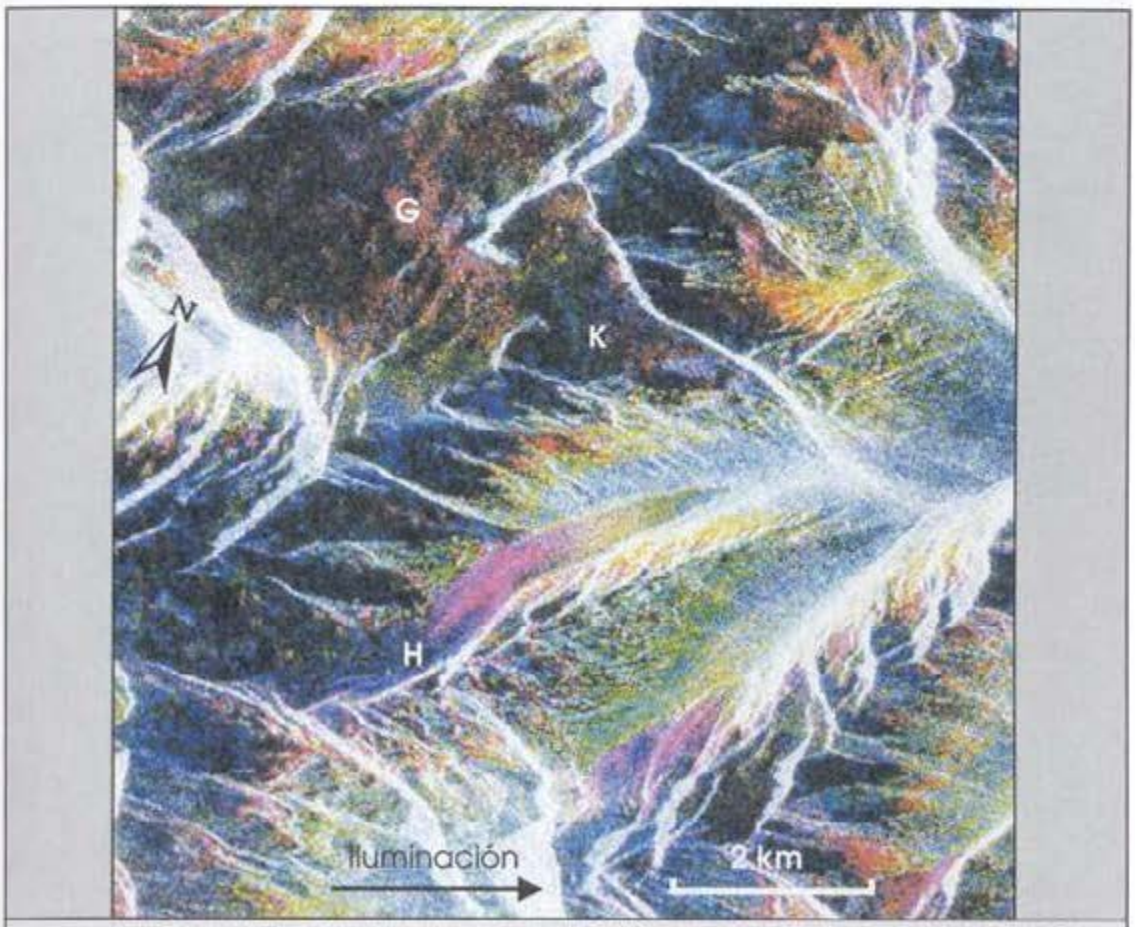


Figura 1. Sitio de prueba Ötztal, Alpes de Austria. Imagen ERS-1/SAR multitemporal (órbita ascendente): Junio 1, 1992 (azul), Julio 6, 1992 (verde), Agosto 10, 1992 (rojo). Los colores corresponden a áreas de extensión nival decreciente. G - Glaciar Gepatsch; H - Glaciar Hintereis; K - Glaciar Kesselwand. © ESA 1992.

ZONA 3: Barrera de Hielo Larsen e Isla James Ross, sector N-E de la Peninsula Antártica.

La Barrera de Hielo Larsen (Fig. 3) ha sufrido grandes cambios en los últimos veinte años a causa de procesos de desintegración y desprendimiento a lo largo de su frente de ~ 700 km, desde el Canal Príncipe Gustavo hasta la isla Ewing. Entre esta última y el Cabo Longing el área de la barrera ha disminuido en ~ 9300 km², desde 1975 hasta 1989 (Skvarca, 1994). El sector de barrera al norte de los nunataks Foca e isla Robertson se hallaba sometido a un acelerado retroceso, acentuado en los años recientes (Skvarca, 1993a); b) hasta su total desintegración ocurrida a principios de 1995, documentada por la reciente misión ERS-1 de Enero 15-Febrero 15, 1995. Este sector, que se hallaba cerca del límite crítico de temperaturas (-5° C) para la subsistencia de barreras de hielo, era particularmente sensible al calentamiento atmosférico y oceánico.

Las imágenes ERS-1/SAR permitieron realizar el primer estudio detallado del comportamiento temporal del

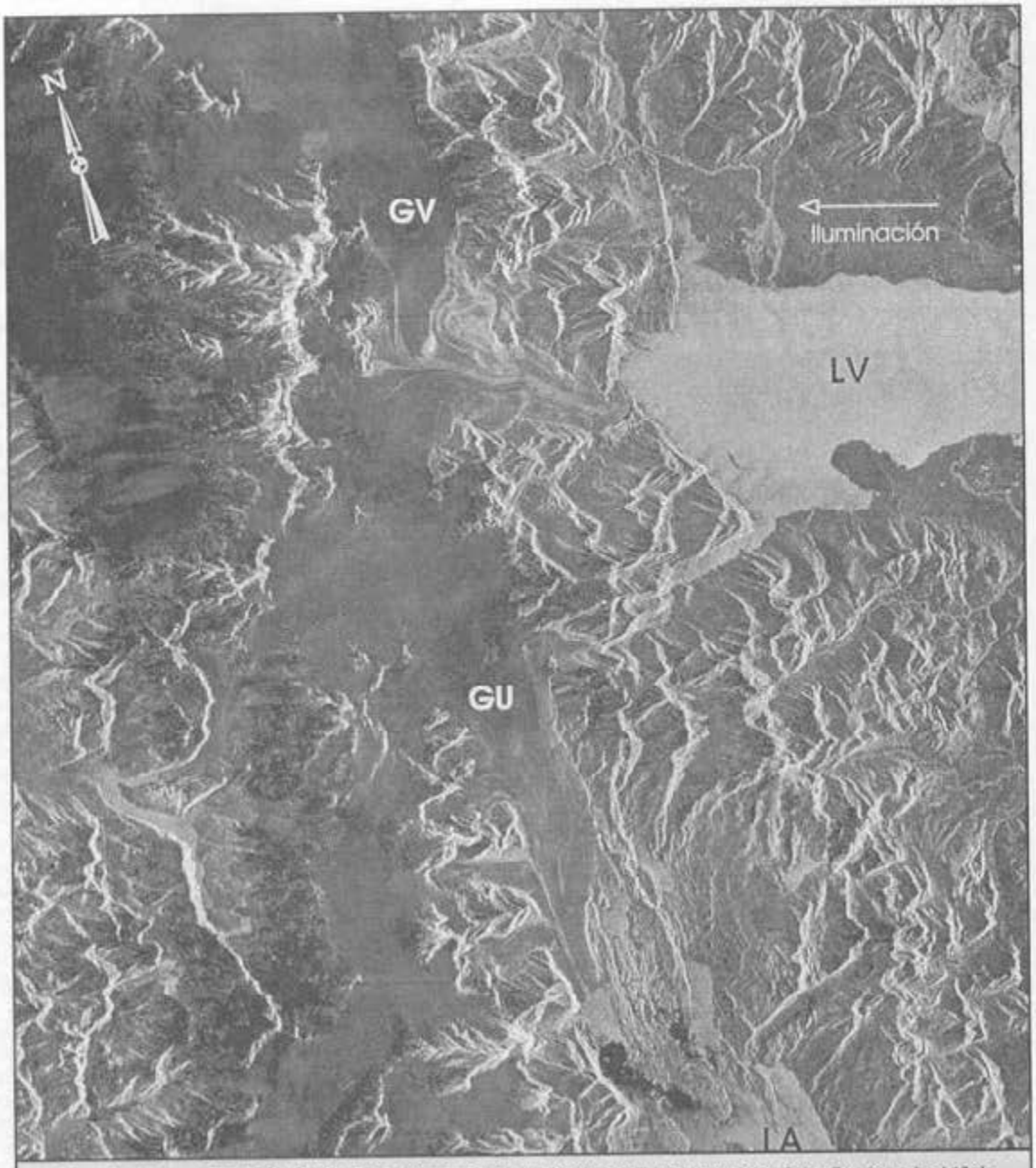


Figura 2. Imagen SAR/ERS-1 (Orbita 7813 - Cuadro 4617) del sector central del Hielo Patagónico Sur, tomada el 12 de Enero 1993. En la imagen se observan dos grandes glaciares de descarga del HPS, i.e. los glaciares Viedma y Upsala, cuyos frentes terminan en los lagos Viedma y Argentino, respectivamente. GV - Glaciar Viedma; GU - Glaciar Upsala; LV - Lago Viedma; LA - Lago Argentino. © ESA 1993.

retroceso del sector norte de la Barrera Larsen. La zona al norte de la Isla Robertson fue cubierta por ERS-1 durante la fase multidisciplinaria. Las imágenes SAR disponibles corresponden a períodos de operación de la Estación Receptora Alemana en la Base O'Higgins. Se analizó la extensión de la barrera de hielo mediante imágenes radar, adquiridas en siguientes fechas: 2 de Julio y 8 de Diciembre, 1992; 12 de Enero, 16 de Febrero y 26 de Agosto, 1993. Como resultado del análisis de estas imágenes secuenciales se observa una reducción drástica de la barrera al norte de la Isla Lindenberg, con un retroceso pico ocurrido durante el período de verano, pero también con algunos cambios durante el invierno (Rott et al., este volumen).

La Isla James Ross tiene un diámetro aproximado de 50 Km. Su parte central se halla cubierta por una calota de hielo de 200-300 m de espesor, cuya elevación máxima es superior a los 1600 m s.n.m. Los glaciares de descarga más extensos terminan en el nivel del mar, en frentes amplios de desprendimiento, mientras que muchos de los glaciares

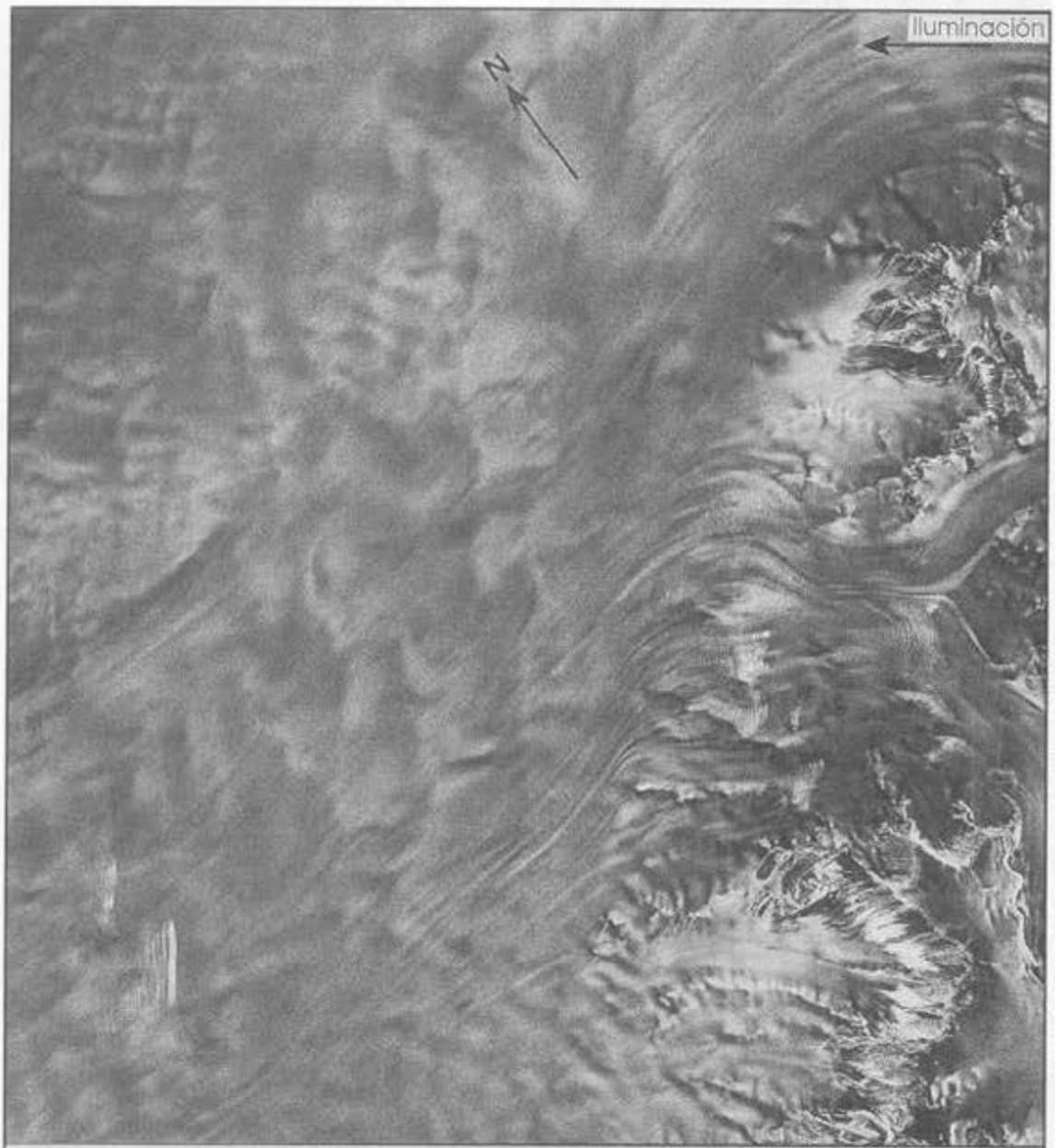


Figura 4. Imagen ERS-1/SAR. PRI (Orbita 2626 - Cuadro 5175) del 16 de Enero, 1992. Coordenadas del centro imagen: 74° 15' S; 11° 04' W. La parte derecha muestra la Cadena Helmetront en la Tierra de la Reina Maud, Antártida, distante unos 300 km de la costa del Mar de Weddell. Se notan claramente los rasgos lineales (líneas de flujo) que indican la dirección del movimiento del hielo y las ondulaciones suaves de la superficie relacionadas a la topografía subglacial. La meseta del Admunsen Ice se extiende al Sur de la cadena montañosa. © ESA 1992.

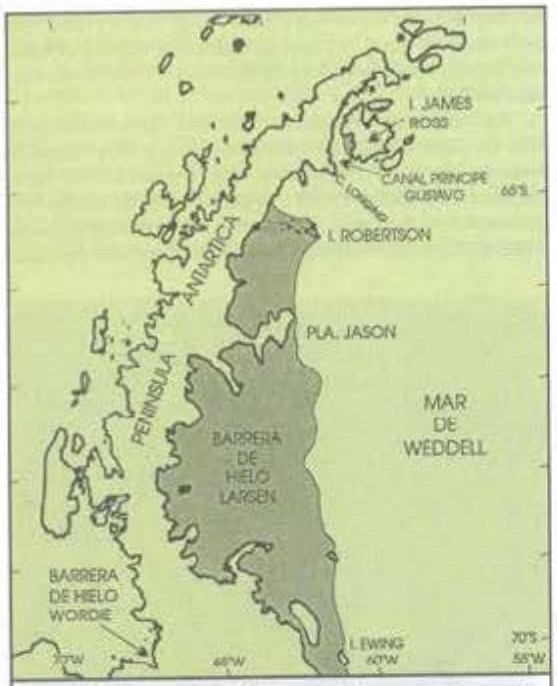


Figura 3. Mapa de la Península Antártica con la Barrera de Hielo Larsen e islas del sector NE, zona 3 del experimento.

más pequeños presentan su frente en tierra. Se ha observado también un notorio retroceso glaciario en esta isla, basado en el análisis de las imágenes ópticas y datos ERS-1/SAR (Skvarca et al., en prensa), coincidente con el calentamiento atmosférico registrado en la región durante las dos décadas recientes. El monitoreo futuro de la Barrera de Hielo Larsen, en particular su extremo norte y zonas glaciarias adyacentes, es de particular interés para una mejor comprensión de la interrelación hielo-clima.

El proyecto incluye para esta región actividades tales como:

a. Evaluación de cambios temporales de los límites de la barrera de hielo y glaciares, rasgos de flujo, morfología de la nieve y su relación con los parámetros climáticos registrados en las estaciones cercanas.
b. Determinación de velocidades superficiales de la barrera mediante técnicas de rastreo de rasgos y por interferometría en áreas específicamente seleccionadas.

ZONA 4: Amundsen Ice/Heimefrontfjella/Barrera de Hielo Ekström, Tierra de la Reina Maud, Antártida.

Esta área de investigación incluye barreras de hielo cercanas a la costa, corrientes de hielo de flujo rápido, escarpadas cascadas de hielo y roca desnuda a lo largo de la Cadena Heimefront (Heimefrontfjella) (Fig. 4), y la elevada meseta polar del Amundsen Ice. En la barrera Ekström existe fusión esporádica en las capas superficiales de nieve durante el verano. La cubierta nival incluye estratos y lentes de hielo de mm a cm de espesor. Al norte de Heimfrontfjella se encuentran áreas de acumulación comparativamente alta, la nieve es permanentemente seca, con una estructura bastante homogénea.

Las principales actividades relacionadas con este sitio de prueba incluyen investigaciones sobre las capacidades interferométricas del SAR (topografía, velocidad del hielo), en base a datos ERS/SLC en comparación con las propiedades físicas de la nieve-hielo y con los datos sobre la velocidad del hielo y topografía. Para estas investigaciones revisten significativa importancia las mediciones de campo sobre la retrodispersión en bandas C- y X- y sobre las propiedades físicas de la nieve-hielo, llevadas a cabo en varias localidades ubicadas entre la costa y la meseta del Admunsen Ice (Rott et al., 1993).

DURACION DEL PROYECTO

La duración total del experimento, que incluye las campañas de campo en la Antártida, Patagonia y los Alpes, el desarrollo de los programas, análisis de datos SAR y análisis glaciológico/climático se extiende desde comienzos de 1994 hasta principios de 1997.

Hasta el presente ya se han llevado a cabo varias campañas de terreno para la obtención de datos de validación terrestre en apoyo del análisis de datos ERS/SAR, en las siguientes zonas:

a) Campañas anuales en el sitio de prueba Ötztal, Alpes de Austria, relacionadas con experimentos SAR aerotransportado y espacial así como estudios regulares de balance de masa glaciar.
b) Glaciares Viedma, Upsala y Moreno, Campo de Hielo Patagónico Sur (HPS), Argentina.
c) Barrera de Hielo Larsen, entre los 64° 50' S y 66° S, Península Antártica. Los datos de terreno recolectados durante la campaña Octubre-Noviembre 1994 sobre la región desintegrada a principios de 1995 ayudarán a esclarecer las causas y los mecanismos que ocasionaron este extraordinario fenómeno.

METODOLOGIA

El experimento se basa en el análisis de datos ERS/SAR con las herramientas de análisis SAR desarrolladas con anterioridad, en desarrollos del software en curso en el IMGI y en los datos de campañas mencionadas y futuras. Las principales tareas previstas son:

1. Análisis de imágenes ERS/SAR de los sitios de prueba con las herramientas disponibles. Los pasos a seguir son:
   - Geocodificación de las imágenes SAR, incluyendo corrección de terreno (si disponibles datos DEM),
   - Extracción de límites de glaciares y barreras de hielo,
   - Clasificación de las áreas de nieve y hielo sobre glaciares,
   - Extracción de facies de nieve y de parámetros de dinámica de hielo y drenaje (líneas de flujo, morenas superficiales, grietas, canales de drenaje, lagos),
   - Determinación de velocidades de hielo mediante el rastreo de rasgos superficiales,
   - Clasificación y monitoreo de cambios en la extensión de la cubierta nival en áreas libres de hielo y glaciares en el sitio de prueba Ötztal (para modelado de escurría),
   - Análisis en sinergia de propiedades glaciarias basado en imágenes radar y ópticas.
2. Adquisición y análisis comparativos de datos de campo (mediciones de largo plazo y campañas de campo):

- Análisis de datos meteorológicos de largo período de: Vent (Ötztal), Lago Argentino (Patagonia Austral), Estaciones Antárticas Argentinas Marambio (Seymour) y Esperanza (Hope Bay),
- Análisis de escurría medido en la Estación de Aforo Vent (Ötztal),
- Mediciones de balance de masa glaciar anual, basadas en datos de acumulación y ablación medidos en tres glaciares en Ötztal,
- Mediciones de velocidades de hielo con métodos geodésicos en lugares seleccionados en Ötztal, Patagonia y sitios de prueba en Antártida,
- Durante la adquisición de imágenes ERS/SAR se realizará, con énfasis en el sitio de prueba Ötztal: instalación y relevamiento geodésico de reflectores esquineros;
  mediciones de propiedades eléctricas y estructurales de la nieve;
  mediciones de rugosidad superficial de la nieve, hielo glaciar y áreas libres de hielo;
  mediciones de señales de retrodispersión con instrumento basado en tierra.

3. Desarrollo simultáneo del software y su aplicación para análisis de datos SAR.
   - Actualmente se desarrollan en el IMGI programas para análisis interferométrico en base a datos ERS-1/SAR de tres días de repetición sobre glaciares y sabanas de hielo.

RESULTADOS PREVISTOS

Con el proyecto en curso se anticipa avanzar en varios campos de la glaciología científica y en las investigaciones sobre la relación cambio global/clima así como en los campos de las aplicaciones del SAR y en los métodos de análisis de datos SAR. Los principales resultados incluirán los siguientes tópicos:

- Desarrollo más amplio de las técnicas de avanzada para la obtención de parámetros glaciarios (límites y movimiento del hielo, datos digitales de elevación en terreno inclinado).
- Contribuciones a las investigaciones del Cambio Global: haciendo uso de las posibilidades únicas de cobertura multitemporal y casi global del SAR para estudiar en modo comparativo las interacciones entre la extensión glaciar-balance de masa-características climáticas, en base a sitios de prueba de diferentes zonas climáticas.
- Contribuciones a aplicaciones operativas del SAR en hidrología: demostrar y promover la aplicación del SAR para modelamiento y pronostico de escurría de fusión nival, requeridos para el monitoreo hidrológico y manejo de recursos hídricos.
- Técnicas innovativas que incluyen posibilidades y métodos del uso de la interferometría TOPSAR para la obtención de datos digitales de elevación sobre nieve y hielo y de interferometría diferencial para la determinación del movimiento de hielo.

REFERENCIAS

ANIYA M. and SKVARCA P. 1992. **Characteristics and variations of Upsala and Moreno glaciers, southern Patagonia.** *Bulletin of Glacier Research, 10, 39-53.*

ANIYA M., NARUSE R., SHIZUKUISHI M., SKVARCA P., CASASSA G. 1992. **Monitoring recent glacier variation in the Southern Patagonia Icefield, utilizing remote sensing data.** *Internat. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIX, Part B7, 87-94.*

NARUSE R. and ANIYA M. 1992. **Outline of Glacier Research Project in Patagonia,** *1990. Bulletin of Glacier Research, 10, 31-36.*

ROTT H. 1993. **Glaciers of the Alps: The Austrian Alps.** *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World, U. S. Geological Survey Profess. Paper 1386-E, E6-E13.*

ROTT H., MÄTZLER C., STROBL D., BRUZZI S., LENHART K. G. 1988. **Study on SAR land applications for snow and glacier monitoring.** *ESA Contract No. 6618/85/F/FL(SC), Final Report.*

ROTT H., MILLER H., STURM K. and RACK W. 1994. **Applications of ERS-1/SAR and scaterrometer data for studies of the Antarctic ice sheet.** *Proc. of Second ERS-1 Symp. ESA SP-361, 133-139.*

ROTT H. and STROBL D. 1992. **Synergism of SAR and LANDSAT TM imagery for thematic investigations in complex terrain.** *Adv. Space Res. Vol. 12, No. 7, 425-431.*

ROTT H., STURM K. and MILLER H. 1993. **Active and passive microwave signatures of Antarctic firn by means of field measurements and satellite data.** *Ann. Glaciol., Vol. 17, 337-343.*

ROTT H. and NAGLER T. 1993. **Snow and glacier investigations by ERS-1/SAR-first results.** *Proc. of First ERS-1 Symposium- Space at the Service of our Environment, ESA SP-359, 577-582.*

ROTT H. and NAGLER T. 1994. **Capabilities of ERS-1/SAR for snow and glacier monitoring in alpine areas.** *Proc. of Second ERS-1 Symposium, ESA SP-361, 965-970.*

ROTT H., SKVARCA P. and NAGLER T. (este volumen). **Recent changes of the Larsen Ice Shelf, Antarctic Peninsula, unveiled by ERS-1/SAR.** *Proc. of Workshop "Antarctica: a Continent revealed", Ushuaia, March 27-31, 1995.*

SKVARCA P. 1993a. **Fast recession of the northern Larsen Ice Shelf monitored by space images.** *Ann. Glaciol., Vol. 17, 317-321.*

SKVARCA P. 1993b. **Utilización de imágenes SAR/ERS-1 para detección de cambios y rasgos superficiales en barreras de hielo.** *Publicación especial SELPER, Vol. 9, No. 1-2, 89-93.*

SKVARCA P. 1994. **Changes and surface features of the Larsen Ice Shelf, Antarctica, derived from LANDSAT and KOSMOS mosaics.** *Ann. Glaciol., Vol. 20, 6-12.*

SKVARCA P., ROTT H. y NAGLER T. (en prensa). **Satellite imagery, a baseline for glacier variation study on James Ross Island, Antarctica.** *Proc. of Int. Symp. on the Role of the Cryosphere in Global Change, Columbus, Ohio, Agosto, 1994.*

RECENT CHANGES OF LARSEN ICE SHELF, ANTARCTIC PENINSULA UNVEILED BY ERS-1

Helmut Rott [1], Pedro Skvarca [2], and Thomas Nagler [1]

[1] *Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Austria.*
Tel: (43.512) 507.5451, Fax: (43.512) 507.2924

[2] *Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248, 1010 Buenos Aires, Argentina*
Tel: (54.1) 812.1689, Fax: (54.1) 812.2039

Abstract

Areal extent and glaciological features of Larsen Ice Shelf between Seal Nunataks and Sobral Peninsula were analyzed based on five ERS-1/SAR images acquired between July 1992 and August 1993. In comparison to previous investigations considerable acceleration of retreat was observed for this part of Larsen Ice Shelf. This lead finally to almost complete disintegration in early 1995 which is topic of ongoing research.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

INTRODUCTION

The Larsen Ice Shelf extends on the eastern side of the Antarctic Peninsula from latitudes 65° S to 74° S. The northern part of Larsen Ice Shelf, with mean annual temperatures between -5° C to -8° C, is located close to the climatic limit for existence of ice shelves and for this reason is highly sensitive to climatic change (Morris, 1992; Doake and Vaughan, 1991). The small section of Larsen Ice Shelf in Prince Gustav Channel is the most northerly ice shelf in the southern hemisphere (Figure 1); it disintegrated almost completely in January 1995. Changes of areal extent of the complete Larsen Ice Shelf have been analyzed by means of KOSMOS KATE-200 and LANDSAT TM imagery for the period 1975 to 1986-89, showing an overall decrease of about 9.300 km² (Skvarca, 1994). The retreat of the ice shelf in Prince Gustav Channel has been documented by means of satellite imagery for the period 1975 to 1992, and the part between Seal Nunataks and Cape Longing for the period 1975 to 1989, complemented by field survey in 1991 (Skvarca 1993 a; b).

The Synthetic Aperture Radar (SAR) on board the European ERS-1 satellite, launched in July 1991, offers high spatial resolution images with improved temporal resolution which is of particular interest for monitoring ice sheets and glaciers undergoing rapid changes. In addition, SAR imagery provides information on surface morphology and sub-surface properties of snow and ice which is of interest for studying ice flow dynamics and mass balance (Rott et al., 1988; Rott and Nagler, 1994; Rott et al., 1994). In this paper we present the analysis of areal changes of Larsen Ice Shelf between Seal Nunataks and Sobral Peninsula, based on several ERS-1/SAR images acquired between July 1992 and August 1993. During this time period considerable acceleration of retreat of the ice edge was observed in comparison to the period 1975 to 1991 with an average retreat of 1.5 km per year (Skvarca, 1993 a). No ERS-1/SAR images were obtained over this area between August 1993 and January 1995 because of the limited operation time of the Antarctic receiving station and because of constraints of the satellite orbits. In January and February 1995 the main part of the ice shelf north of Seal Nunataks disintegrated. Analysis of SAR imagery of this event is presently in progress at Institut für Meteorologie und Geophysik. Some hints on this event are given, full results will be presented in a later paper.

THE SAR DATA SET

Five ERS-1 SAR images, obtained from the European Space Agency (ESA) for ERS-1 AO Experiment Nr. A2, were analyzed for this study. The SAR data had been acquired for ESA at the German ERS-1 receiving station situated near the Chilean Antarctic Base O'Higgins. The data were received from the German Processing and Archiving Facility in Geocoded Ellipsoid Corrected (GEC) format, which provides the image data in UTM projection based on WGS-84 ellipsoid with nominal resolution of 25 x 25 m² and pixel spacing 12.5 x 12.5 m². The data set includes the following images of the same frame, Nr. 4941:

Date	02 July 92	08 Dec 92	12 Jan 93	16 Feb 93	26 Aug 93
Orbit	05035	07311	07812	08313	11047

All five images were acquired during the 35 day repeat cycle of ERS-1. The images on 8 December 1992, 12 January 1993, and 16 February 1993 were obtained from the same repeat orbits which differ by a few hundred meters at maximum. The absolute geographic location of the three images differed by a few pixels. Co-registration of the three images could be achieved by simple horizontal and vertical translatory shift, using linear features as reference. Finally, absolute location in UTM coordinates of WGS-84 reference system was calculated by means of geodetic field data used as reference. Boundaries between Nunataks and Ice Shelf, measured in the field by means of differential GPS, were found to be particularly

useful for this task because these features can be clearly identified in the SAR images. Due to the lack of digital elevation data terrain induced distortions could not be corrected. However, absolute location accuracy in the SAR images is high on the ice shelf where the total range of elevations is of the order of several meters only.

The SAR images of 8 December, 12 January, and 16 February cover the complete ice shelf between Seal Nunataks and Sobral Peninsula, as well as part of the grounded ice draining to the ice shelf (Figure 2). The images of 2 July 1992 and 26 August 1993 were acquired from an adjoining orbit, 29 km to the east. In these images the western part of the floating ice is partly cut off, but the seaward boundary, which is of main interest for this study, is fully covered (Figure 3). These two images were co-registered to the three other images by means of control points and linear features using a first order geometric distortion model.

GLACIOLOGICAL FEATURES FROM THE SAR DATA

Figure 2 shows the SAR image of Larsen Ice Shelf between Seal Nunataks and Sobral Peninsula acquired on 12 January 1993. Low values are observed for the backscattering coefficient σ^0 on the ice shelf as well as on grounded ice, corresponding to wet snow and ice (Rott et al., 1988). Even at Detroit Plateau, which rises up to 1900 m above sea level in the part shown in the image, the low σ^0 - values indicate wet snow. The narrow bright zone along the escarpment corresponds to steep slopes facing towards the radar, resulting in foreshortening with strong return due to low incidence angle and geometric distortion. The strong radar return of the wind roughened sea provides excellent contrast versus the ice shelf. Flow lines and drainage patterns are

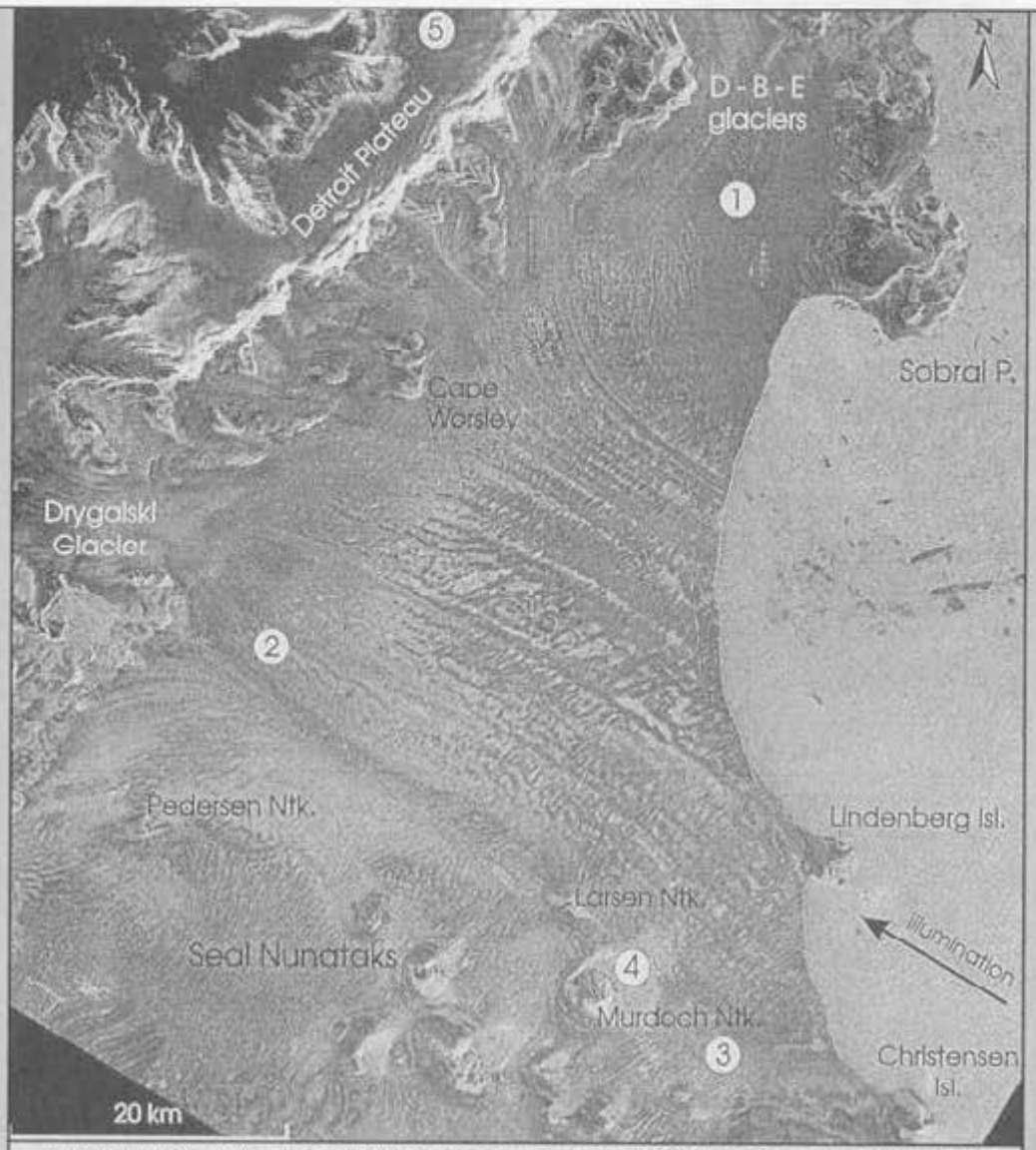


Fig. 2: Part of ERS-1/SAR image 7812/4941 acquired on 12 January 1993, showing Larsen Ice Shelf north of Seal Nunataks. Abbreviations: D B E glaciers - Dinsmoor, Bombardier, Edgeworth glaciers. Numbers refer to areas of backscatter analysis. © ESA 1993.

clearly visible on the ice shelf due to variations of small to medium scale surface roughness. In case of wet snow penetration depth at the frequency of ERS-1/SAR (5.3 GHz) is typically of the order of few centimeters only, so that the main scattering contribution originates from the snow surface (Rott et al., 1988; Rott and Nagler, 1993). Frozen crust on top of a melting snowpack may increase σ^0 by a few dB (Mätzler, 1987).

In winter, when the firn is completely frozen, the penetration depth is of the order of several meters and σ^0 is strongly increased due to scattering at inhomogeneities in the volume. This is apparent in Figure 3 showing a SAR image of the ice shelf acquired on 2 July 1992. Ice lenses in snow and air bubbles in ice are efficient scatterers. Therefore frozen firn on Antarctic ice shelves is one of the strongest volume scattering media (Rott et al., 1993; 1994). In this image smooth, newly formed sea ice in front of the ice shelf shows low σ^0, whereas σ^0 increases for older ice floes.

Table 2 contains the results of analysis of σ^0 from the five SAR images for five different sites each of which covers an area of at least 1500 x 1500 m². The location of the sites can be seen in Figure 2. Site 5 was not covered by the winter images. Sites 1, 2, and 3 are situated on level parts of the ice shelves. At these three sites σ^0 returns in August 1993 to similar values as in the previous winter. The σ^0 - values of site 1 (close to the northern boundary of the ice shelf) on 12 January 1993 and on 16 February 1993 and of site 5 (on Detroit Plateau) correspond to wet snow with smooth surfaces. σ^0 was higher at site 1 on 8 December, indicating higher surface roughness, than on the two following dates. The mean air temperature of the first 8 days in December 1992 at Marambio Station (64° 14' S, 56° 37' W) on Seymour Island was +5.3° C. In accordance with field observations

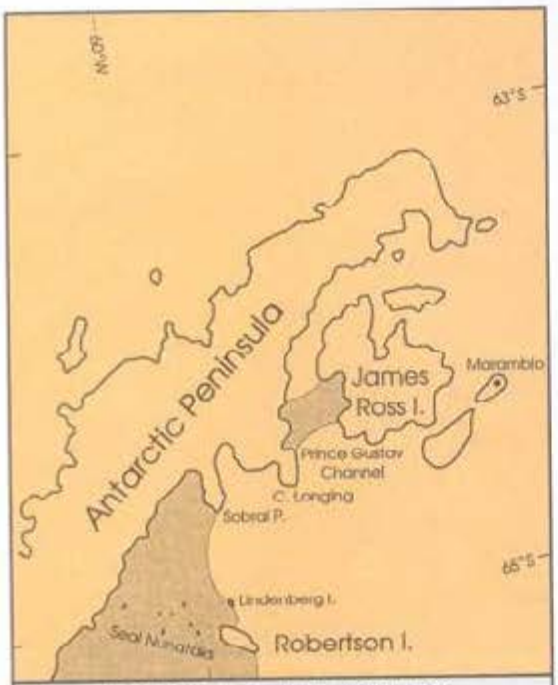


Fig. 1: Sketch map of the northern part of Larsen Ice Shelf.

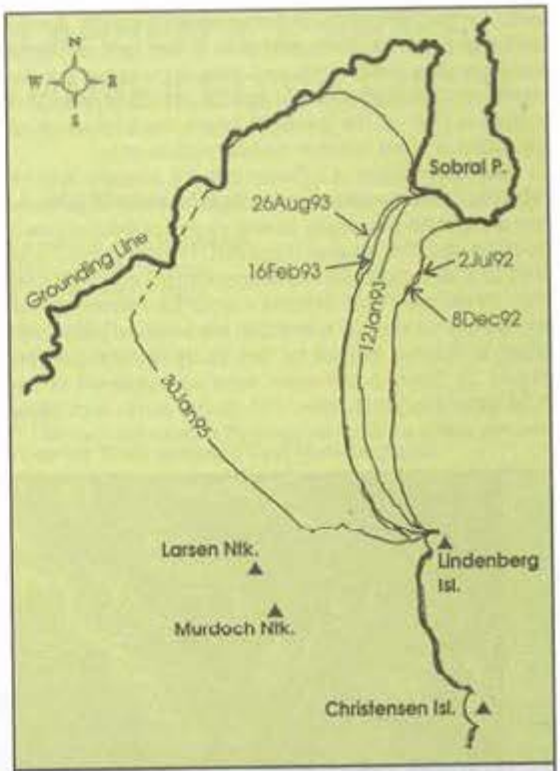


Fig. 5: Map of ice shelf boundaries of Larsen Ice Shelf north of Seal Nunataks derived from ERS-1/SAR images on 2 July 1992, 8 December 1992, 12 January 1993, 15 February 1993, 26 August 1993, 30 January 1995.

in this area, it can be assumed that the snowpack became soaked with water until 12 January, which results in considerable decrease of surface roughness. December 1992 was the warmest month ever recorded in Marambio with a mean temperature of +2.4° C.

Table 2: Backscattering coefficients σ^0 in dB of 5 selected sites on Larsen Ice Shelf and Detroit Plateau, derived from ERS-1/SAR images. Site locations are shown in Fig. 2.

Site Nr.	2 July 92	8 Dec 92	12 Jan 93	16 Feb 93	26 Aug 93
1	-3.0	-13.5	-18.1	-18.8	-3.5 dB
2	-6.0	-12.0	-12.7	-11.6	-6.0 dB
3	-3.2	-10.0	-12.2	-14.0	-3.1 dB
4	-7.6	-4.8	-10.3	-9.2	-8.5 dB
5	-	-17.7	-19.4	-19.7	-

The σ^0 - values at site 2 and 3 in summer correspond to wet firn with rough surfaces and ice crusts. Site 4 is situated in the crevasse zone in front of Murdoch Nunatak which includes ice pinnacles with typical vertical size of few meters to about 30 m. The annual variation of σ^0 is less pronounced than at other sites because glacier ice is exposed and for this reason the surface scattering contribution is dominating.

The arrows in Figure 3 indicate the direction of ice flow. Flow lines are best visible in SAR images from summer, but can also be extracted from winter images. For graphic

reasons the results of the flow line analysis, which is based on all available images, are plotted in the winter image. Inflow from the main contributing glaciers is clearly evident. Dinsmoor, Bombardier, and Edgeworth glaciers, forming a single ice stream close to the grounding line, provide the main contribution to the northern part, and Drygalski Glacier to the central-southern part.

DECREASE OF AREAL EXTENT OF THE ICE SHELF

The overall decrease between 2 July 1992 and 26 August 1993 is illustrated in Figure 4. In this false color representation based on SAR images of the two dates the

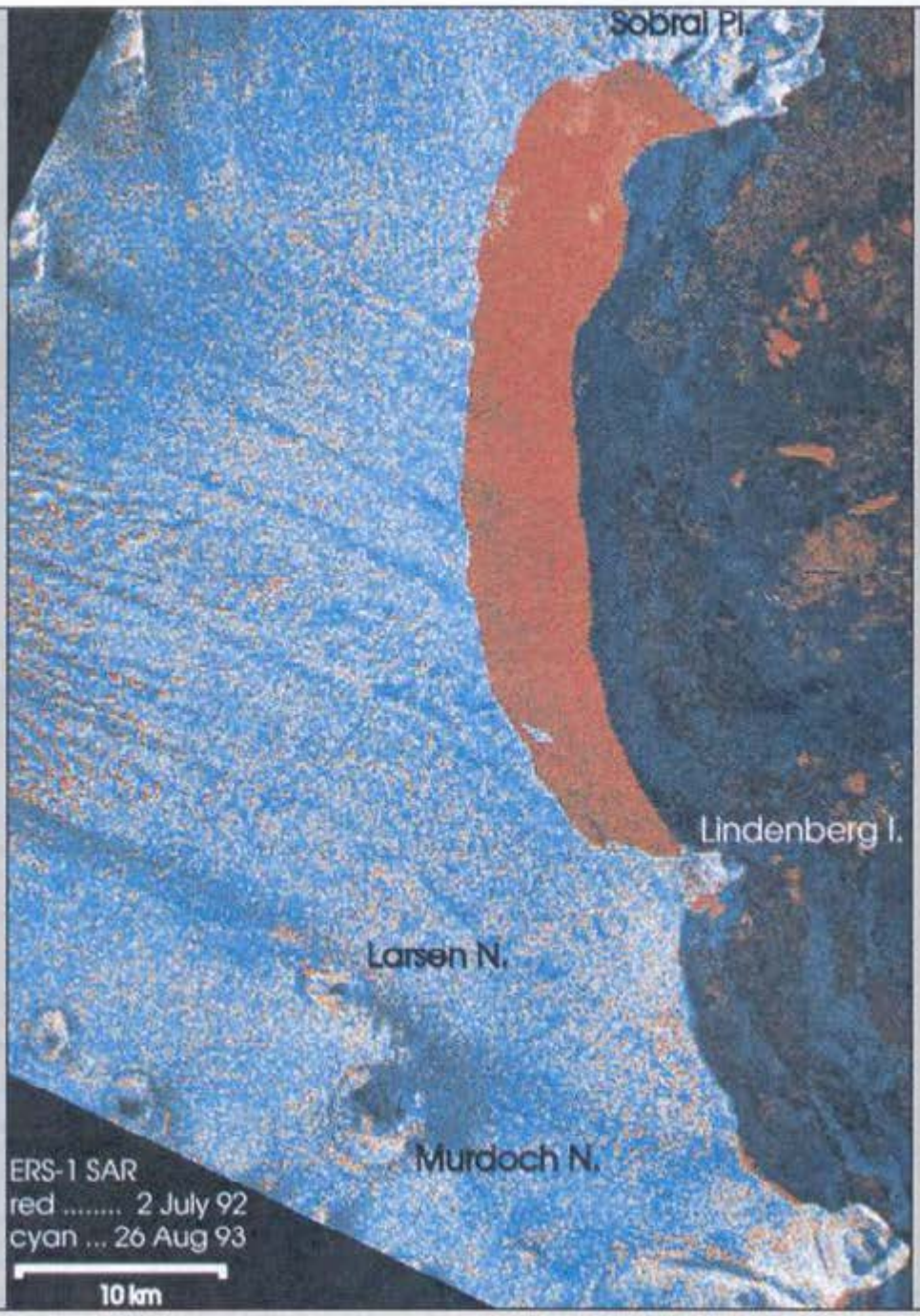


Fig. 4: Multitemporal ERS-1/SAR image of Larsen Ice Shelf north of Seal Nunataks. 2 July 1992 in red, 26 August 1993 in cyan. © ESA 1992, 1993.

Fig. 3: Part of ERS-1/SAR image 5035/4941 acquired on 2 July 1992, showing Larsen Ice Shelf north of Seal Nunataks. Arrows show direction of flow lines. © ESA 1992.

loss in ice shelf area appears as red color. The ice shelf boundary between Lindenberg Island and Sobral Peninsula retreated by about 6 km, the areal loss amounted to 217 km². Little change was observed between Lindenberg Island and Christensen Island. The various positions of the ice edge between July 1992 and August 1993 are shown in Figure 5, as well as a first analysis of the ice shelf boundary based on the SAR image of 30 January 1995.

During 1992/93 the main retreat took place in summer, between 6 December 1992 and 16 February 1993, amounting to an areal loss of 209 km² north of Lindenberg Island. Summer 1992/93 was the second warmest on record at the station Marambio. This accelerated retreat, starting in 1992, was the prelude to the almost complete disintegration of the ice shelf in January and February 1995. The ice boundary on 30 January 1995 in Figure 5 represents an interim stage of the disintegration process which continued during the month of February, shifting the ice edge south to Larsen and Murdoch Nunataks. Until January 30 parts of the ice boundary north of Drygalski Glacier had retreated already to the grounding line.

Due to improved time sequences and due to sensitivity in respect to glacier features, spaceborne SAR is able to provide unique data on extent and properties of glaciers and ice shelves. This information is of particular importance for studying the dynamics of glaciers in climatically sensitive regions such the Antarctic Peninsula. The ERS-1 images document the recent retreat and collapse of northern Larsen Ice Shelf with unprecedented detail. Ongoing analysis of this unique data set will contribute to the understanding of stability and dynamics of ice shelves.

ACKNOWLEDGEMENTS

The ERS-1/SAR data were gratefully made available by ESA for ERS-1 AO Experiment A2 (PI H. Rott). The temperature data were kindly provided by Servicio Meteorológico Nacional, Fuerza Aérea Argentina. The investigations are a contribution to Austrian Science Fund (FWF) Project Nr. 10709-GEO.

REFERENCES

DOAKE C. S. M. and VAUGHAN D. G. 1991. **Rapid disintegration of Wordie Ice Shelf in response to atmospheric warming.** *Nature, 350 (6316), 328-330.*

MORRIS E. (Ed) 1992. **The Contribution of Antarctic Peninsula Ice to Sea Level Rise, British Antarctic Survey.** *Ice and Climate Special Report, British Antarctic Survey, 44 pp.*

MÄTZLER C. 1987. **Applications of the interaction of microwaves with the natural snow cover.** *Remote Sensing Reviews, 2, 259-387.*

ROTT H., MÄTZLER C., STROBL D., BRUZZI S., LENHART K. G. 1988. **Study on SAR land applications for snow and glacier monitoring.** *ESA Contract No. 6618/85/F/FL (SC), Final Report.*

ROTT H. and NAGLER T. 1993. **Snow and glacier investigations by ERS-1 SAR - first results.** *Proc. of First ERS-1 Symposium - Space at the Service of our Environment, ESA SP-359, 577-582.*

ROTT H., K. STURM, H. MILLER 1993. **Active and passive microwave signatures of Antarctic firn by means of field measurements and satellite data.** *Annals of Glaciology 17, 337-343.*

ROTT H. and NAGLER T. 1994. **Capabilites of ERS-1/SAR for snow and glacier monitoring in alpine areas.** *Proc. of Second ERS-1 Symposium, ESA SP-361, 965-970.*

ROTT H., H. MILLER, K. STURM, W. RACK 1994. **Application of ERS-1/SAR and scatterometer data for studies of the Antarctic ice sheet.** *Proc. of Second ERS-1 Symposium, ESA SP-361, 133-140.*

SKVARCA P. 1993a. **Fast recession of the northern Larsen Ice Shelf monitored by space images.** *Annals of Glaciology 17, 317-321.*

SKVARCA P. 1993b. **Utilización de imágenes SAR/ERS-1 para detección de cambios y rasgos superficiales en barreras de hielo.** *Revista SELPER, 9 (1-2), 89-93.*

SKVARCA P. 1994. **Changes and surface features of the Larsen Ice Shelf derived from the LANDSAT and KOSMOS mosaics.** *Annals of Glaciology, 20, 6-12.*

DRASTIC RETREAT OF UPSALA GLACIER, SOUTHERN PATAGONIA, REVEALED BY ERS-1/SAR IMAGES AND FIELD SURVEY

Pedro Skvarca [1], Helmut Rott [2] and Thomas Nagler [2]

[1] *Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248, 1010 Buenos Aires, Argentina*
Tel: (54.1) 812.1689, Fax: (54.1) 812.2039

[2] *Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Austria.*
Tel: (43.512) 507.5451, Fax: (43.512) 507.2924

Abstract

Multitemporal SAR images are applied for the first time to glacier studies of the Southern Patagonia Icefield (SPI). Ice-front variations and changes in areal extent are documented for Upsala Glacier, an SPI outlet glacier calving into freshwater lakes. ERS-1/SAR images of 1993 and 1995 reveal in detail the short-term frontal fluctuations and very recent drastic recession of the main glacier terminus. The satellite data are related to a topographic map, 1981 vertical aerial photograph, and field surveys carried out in late 1994.

After pronounced decrease of the frontal area since 1981, significant acceleration of glacier retreat has been observed since 1993. In just 1.4 years the frontal area terminating in Brazo Upsala of Lago Argentino has decreased by 3.35 km². The width of the lower part of the main glacier stream decreased by almost 25 % since 1981. This reduction is a result of considerable lowering of the glacier surface during the past decades. A thinning rate of 11 m/yr has been measured near the glacier terminus by field surveys carried out in 1990 and 1993. This study shows the usefulness of radar imagery for detailed monitoring of glacier extent and for analysis of short-term frontal variations of major outlet glaciers of the Patagonian Icefields.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

INTRODUCTION

Upsala Glacier with 870 km² in extent comprises almost 7 % of the total Southern Patagonia Icefield (SPI) area, computed as 13000 km² from the early 1986 LANDSAT TM image mosaic (Aniya et al., 1992). The main glacier stream terminates currently at about 49° 58' S; 73° 17' W, calving into Brazo Upsala, Lago Argentino.

The most comprehensive study on Upsala Glacier until the present has been performed through the Glacier Research Project in Patagonia (GRPP-1990-1993), between Japan, Argentina and Chile (Naruse and Aniya, 1992; Naruse and Aniya, 1995). Because of complicated logistics, difficult access and adverse weather conditions no research has been carried out so far over the accumulation area, however many basic glaciological data were obtained during the 1990 and 1993 field campaigns in the ablation area.

The last main readvance of Upsala glacier was approximately dated at 1800 A. D. (Malagnino and Strelin, 1992, Aniya and Skvarca, 1992) described the characteristics and glacier variations since the early 1960s on the basis of available historical data, topographic maps, aerial photography and visible satellite imagery. The glacier flow derived from short term field survey is discussed in (Naruse et al. 1992). Most recent data, based on field campaigns in 1990 and 1993, revealed significant changes occurring presently at the main glacier terminus (Skvarca et al. 1995, Warren et al. in press) analyzed in detail the behaviour of the Upsala terminus since 1957 which calves into Lago Guillermo. Their work confirmed the strong dependence of calving rates on water depth based on measurements made at Lago Guillermo.

In 1994 a joint experiment on the use of ERS-1 / SAR data for comparative investigations on climate sensitivity and glacier dynamics, including the Patagonian glaciers (Principal Investigator: H. Rott) (Skvarca et al., this volume), was approved by the European Space Agency (ESA). The main activities planned for the SPI, selected as one of the four test sites for this experiment, include evaluation of glacier boundaries, flow features and snow-ice morphology over some major outlet glaciers as well as assessment of their temporal changes, based mainly on SAR data but also on visible imagery, when available.

The purpose of this paper is to present the first results on the application of ERS-1/SAR data for monitoring Patagonian glaciers, complemented by field surveys.

FIELD SURVEY

During December 1994 a short field trip was carried out to Upsala Glacier in order to collect data in support of SAR image analyses. The purpose was to survey the eastern glacier boundary by means of differential Global Positioning System (GPS) for SAR image georeferencing as well as to measure the ice front position by classic survey method, after receiving information that significant calving had

Figure 1. Oblique aerial photograph of Upsala Glacier looking south-north, taken during reconnaissance flight on 9 December 1994. The GPS survey line follows for about four km the ice rock contact on the east margin, starting at the lake level. Note the concentration of icebergs within Brazo Upsala, due to intense calving activity.

occurred in mid 1994. This major event blocked almost all the extent of Brazo Upsala, an arm of Lago Argentino where the main glacier stream terminates, preventing navigation of tourist boats to Upsala and Onelli Bay since early August 1994 (L. Mansilla, personal communication). To document this event and for planning the access to the glacier, a reconnaissance flight was carried out to Upsala region with a Pilatus Porter on 9 December 1994, allowing to obtain oblique air photographs of the glacier front (Fig. 1). Brazo Upsala was totally covered by icebergs and broken ice for a length of about 12 km, with the main ice concentration at the tip of Herminita Peninsula. In this part of the lake an ice barrier was formed due the ridge protruding to about 100 m below the water level, preventing drifting of icebergs eastwards.

On 10 December the western part of Brazo Norte (Fig. 3), located at about five hours walking distance from the survey station, was reached with a zodiac. On the next day the survey site was occupied at the Azimuth Point (Fig. 3), which had been previously established (Naruse et al., 1992). About four kilometers of the eastern glacier boundary were surveyed by GPS in kinematic mode and the WGS-84 coordinates later differentially corrected to the averaged position of the Azimuth Point, where a base receiver was installed. On the same day, prominent points distributed along the glacier front were surveyed by a conventional method from the baseline extending south of Azimuth Point which is located on the highest ridge at the eastern glacier margin.

DATA SOURCES AND METHODS OF ANALYSIS

The baseline reference source for this study is the topographic map at 1:100 000 scale, quadrangle Glacier Upsala (Edition 1990), published by the Instituto Geográfico Militar (IGM), Argentina. The map is on Gauss-Krueger (TM) projection, referred to the local geodetic datum Campo Inchauspe, 1969. The vertical aerial photograph obtained on 24 February 1981 by IGM, used for compilation of the above mentioned map, was digitally scanned and co-registered to the available map by means of selected points.

For the present study multitemporal ERS-1/SAR images of 12 January (Orbit 7813-Frame 4617), 16 February (Orbit 8314-Frame 4617) and 26 August (Orbit 11048-Frames 4617 and 4635), 1993, shown in the color composite (Fig. 2), as well as of 22 January 1995 (Orbit 18412-Frame 6165), were made available in digital Precision Image (PRI) format by ESA. The original 12.5 x 12.5 m^2 pixels were averaged to obtain 25 x 25 m^2 pixel size which corresponds approximately to the nominal spatial resolution. All ERS-1/SAR images were co-registered and then transformed to map projection within the area of interest. Sixty control points were selected along the coastline of Lago Argentino and Lago Guillermo for the transformation of the SAR images to map projection. Because no digital elevation model was available for terrain correction of the SAR data, the geodetic projection of the transformed SAR

Figure 2. False color composite of 3 ERS-1 / SAR images showing the terminal part of Upsala Glacier. 12 January 1993 (red), 16 February 1993 (green), 26 August 1993 (blue), 1993. Geographic references are given in Fig. 3, showing the same area. © ESA 1993.

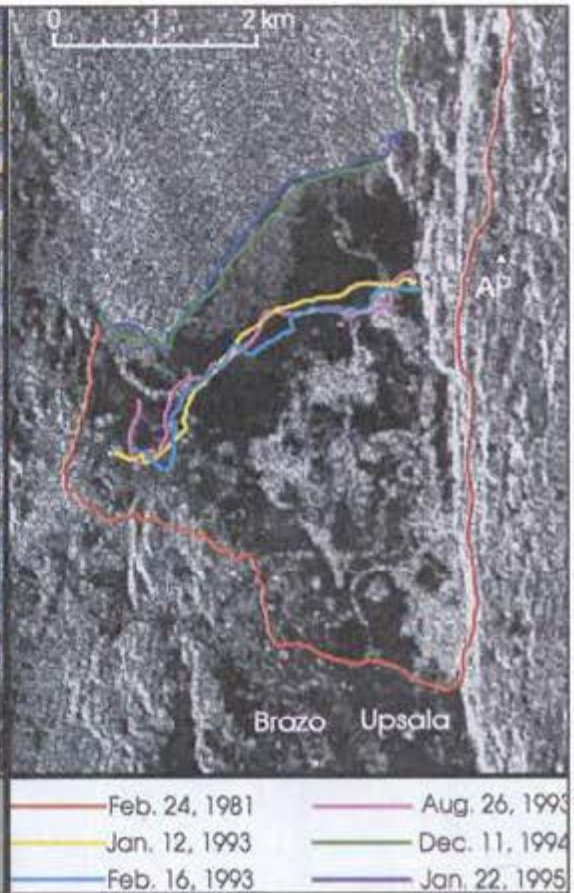


Figure 4. Part of ERS-1/SAR image acquired on 22 January 1995. The color lines correspond to indicate glacier boundaries from ERS-1/SAR (January 1993, February 1993, August 1993, January 1995), air photo (February 1981), and field survey (December 1994).

images is only accurate at the lake levels of Lago Argentino and Lago Guillermo, with rms errors of 1.4 pixels in ground range and 0.8 pixels in Azimuth direction.

The position of the main glacier terminus on 11 December 1994 was obtained in the field by means of resection method, targeting at ice pinnacles and features selected along the glacier snout. Fourteen characteristic points, identified from both extremes of a baseline established previously (Skvarca et al., 1995) extending southwards of Azimuth Point, were measured with a theodolite (1" minimum reading). This front-line position was completed with the aid of the oblique aerial photograph obtained two days earlier, mainly at the western margin, not visible from the baseline. The WGS-84 GPS data recorded in the field simultaneously at Azimuth Point and along the eastern glacier margin were differentially corrected to the average GPS coordinates of the Azimuth Point, using the software provided by the manufacturer. Accordingly, the WGS-84 coordinates were transformed to local geodetic datum. For comparison purposes all field data were then transferred onto the map projection.

Fig. 2 shows a multitemporal image in false colors, generated from parts of ERS-1/SAR images of 12 January 1993 (red), 16 February 1993 (green) and 26 August 1993 (blue). For geographic references and direction of radar illumination see Fig. 3, showing the same area on 12 January 1993 in black and white. The upper left part of the shown area was not covered by the SAR swath on 26 August; therefore this part of the image appears yellow as result of combining the January and February images. Pronounced colors correspond to areas with major differences of backscattering coefficient σ^0 between the different dates. These colors appear mainly on lakes, and are related to changes of wind conditions on Lago Guillermo and Brazo Norte, strong winds resulting in high σ^0. On Brazo Upsala, changing positions and concentrations of calved ice cause variations of σ^0 in addition to wind. The backscattering properties of the glacier surfaces were almost identical on 12 January and 16 February with typical σ^0 -values of the order of -10 dB to -12 dB. On 26 August σ^0 of the glacier surface was lower by about 1 to 1.5 dB, indicating slightly reduced roughness of the surface (Rott et al., 1988). The tributaries form Cono and Bertacchi Glaciers are clearly separated from other tributaries due to medial moraines visible due to high radar reflectivity. In the upper part of the glacier stream ash bands originating from eruptions of Vulcan Lautaro can be recognized as fan-like features with increased reflectivity due to increased surface roughness.

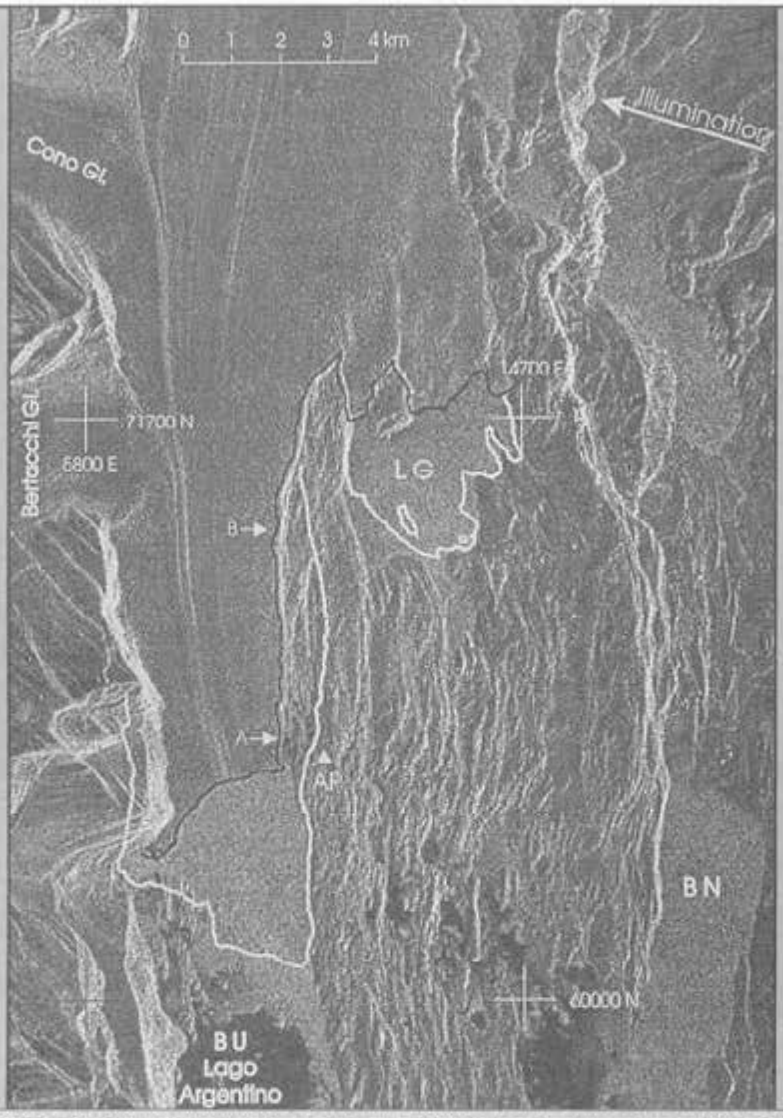


Figure 3. Part of ERS-1/SAR image acquired on 12 January 1993 showing the lower part of Upsala Glacier. Geographic references: BU - Brazo Upsala, BN - Brazo Norte of Lago Argentino, LG - the proglacial lake Lago Guillermo, AP - Azimuth Point. A and B indicate the start point and end point of the GPS line along the ice margin. Northing (N) and Easting (E) refer to TM map projection. The arrow indicates the direction of the illuminating radar beam. The black line corresponds to the glacier boundary on 12 January 1993, the white line to the glacier boundary on 24 February 1981.

The steep incidence of the radar beam (23° from the vertical) results in considerable geometric distortions on slopes facing the radar beam (Rott and Nagler, 1994). This is particularly disturbing on the orographic right side of the glacier where steep slopes are projected over the western part of the terminus (see also Fig. 3). In these regions of foreshortening no relevant information can be obtained. Whereas the images in 1993 were acquired from descending orbit of ERS-1, illumination from ESE, the image of 22 January 1995 was obtained from ascending orbit, illumination from WSW. Figure 4 shows an enlargement of the glacier terminus of Brazo Upsala, as well as the positions of the ice boundary obtained from the SAR images and other sources. In this image the western margin of the terminus is fully visible because of the more favorable direction of the illuminating beam.

ANALYSES OF GLACIER CHANGES

The behaviour of the main terminus of Upsala Glacier since the early 1960s until 1993 has been described in detail by (Aniya and Skvarca, 1992 and Skvarca et al. 1995, Warren et al. in press) analysed the retreat of the glacier terminus at Lago Guillermo since 1957 until 1993, estimating for 1992-1993 a calving rate of 60 m/yr. According to these sources, rapid recession due to calving began at both glacier termini in 1981.

The changes in the areal extent of the glacier at Brazo Upsala and Lago Guillermo between 1981 and 1993, derived from the aerial photograph of 24 February 1981 and the SAR image of 12 January 1993, are shown in Figure 3. The areal changes measured digitally give for this period a decrease of 9.4 km² at Brazo Upsala and

of 8.5 km² at Lago Guillermo. In the same figure a significant decrease in glacier width is also evident, which was almost 1 km on the eastern margin according to the 1994 GPS field survey. The glacier area along this margin has been reduced by more than 5 km² since 1981. This areal change is due to significant surface lowering occurring at lower parts of the glacier during the last decades, which may have increased recently. Field measurements of surface level on a transverse profile extending from the east margin to the medial moraine, carried out in 1990 and 1993 at the lower part of Upsala main terminus, gave an average thinning rate of 11 m/yr (Skvarca et al., 1995). This may be one of the greatest thinning rates recorded on earth during the last 30 years.

Figure 4 shows only a small section of the ERS-1/SAR image acquired on 22 January 1995, as well as the ice front positions at Brazo Upsala, derived from 1993 ERS-1 multitemporal data. Between 12 January, 16 February and 26 August the position of the glacier front fluctuated considerably. An advance, though non-uniform, took place along the eastern part while parts of the western lobe retreated. The same figure also shows a dramatic retreat due to a major calving event which occurred in mid 1994, revealed by comparison of ERS-1/SAR images of 26 August 1993 and 22 January 1995 as well as by the field survey in December 1994. From these two radar images the maximum retreat of 1.5 km is measured within the eastern part of the glacier terminus, decreasing towards west with the minimum retreat of 0.6 km. Close to the western margin, where the characteristic lobe-shaped front feature disappeared due to calving, the average recession was measured to be about 1 km. The ice-front position surveyed on 11 December 1994 and the terminus shown in the SAR image of 22 January, 1995, indicate that some retreat has also taken place during this short time interval.

The areal decrease in the frontal part during only 1.4 years, as computed from the latest two SAR images, is 3.35 km². Comparing this value to the 9.4 km² reduction occurred during previous 12 years, it is concluded that the glacier is presently by far at the highest retreating stage.

CONCLUSIONS

ERS-1/SAR data used in this study reveal not only the short- term fluctuations of the main terminus of Upsala Glacier through the analysis of 1993 multitemporal images but also document the drastic retreat which occurred mainly in mid 1994 and which was already detected and surveyed in the field during December 1994. The glacier frontal area has decreased by 3.35 km² in just 1.4 years time interval. The comparison to the areal losses during the previous 12 years indicates that the glacier has entered a dramatic retreat phase. Present results also show a significant reduction of almost 25 % in glacier width since 1981 for the lower part of the main glacier stream of Upsala, due to intense surface lowering.

Spaceborne SAR is a valuable tool for repeated monitoring of glacier regions frequently covered by clouds such as SPI. For this reason the visible satellite images available over this area are very limited. Continuous monitoring, possible now with high resolution SAR sensors, is of particular interest for glacier areas as described, where changes in areal and volume extent are presently occurring very rapidly. In view of these drastic glacier changes, the SAR imagery should be fully exploited for glaciological studies over both Patagonian Icefields where knowledge on basic glaciological characteristics is still very limited.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their gratitude to Gendarmeria Nacional Argentina and Pilatus Porter crew for safe flight in high turbulence over Upsala Glacier as well as to personnel of Destacamento Naval Reforzado Punta Bandera, Prefectura Naval Argentina, for transportation with zodiac in stormy lake conditions. Especial thanks are due to Ramón Ciochioni who joined the first author during few days of hard work on the glacier. Without their support the successful field trip would not have been possible.

The ERS-1/SAR data were gratefully made available by ESA for ERS-1 AO Experiment A2. The research activities of the Austrian scientists are funded through the Austrian Science Fund FWF Project Nr. 10709-GEO.

REFERENCES

ANIYA, M., NARUSE, R., SHIZUKUISHI, M., SKVARCA, P. and CASASSA, G. 1992. **Monitoring recent glacier variations in the Southern Patagonia Icefield, utilizing remote sensing data.** *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIX, Part B7, (Proc. of XVIIth Congress of Internat. Society for Photogrammetry and Remote Sensing), 87-94.*

ANIYA, M. and SKVARCA, P. 1992. **Characteristics and variations of Upsala and Moreno Glaciers, southern Patagonia.** *Bulletin of Glacier Research, 10, 39-53.*

MALAGNINO, E. and STRELIN, J. 1992. **Variations of Upsala Glacier in southern Patagonia since the late Holocene to the present.** *In Naruse, R. and Aniya, M. (eds.) Glaciological Researches in Patagonia, 1990. 61-85.*

MANSILLA, L. 1994. **Personal Communication.** *Calafate, Argentina.*

NARUSE, R. and ANIYA, M. 1992. **Outline of Glacier Research Project in Patagonia,** *1990. Bulletin of Glacier Research, 10, 31-38.*

NARUSE, R. and ANIYA, M. 1995. **Synopsis of glacier researches in Patagonia,** *1993. Bulletin of Glacier Research, 13, 1-10.*

NARUSE, R., SKVARCA, P., KADOTA, T. and KOIZUMI, K. 1992. **Flow of Upsala and Moreno Glaciers, southern Patagonia.** *Bulletin of Glacier Research, 10, 55-62.*

ROTT H., MÄTZLER C., STROBL D., BRUZZI S. and LENHART K.G. 1988. **Study on SAR land applications for snow and glacier monitoring.** *ESA Contract No. 6618/85/F/FL(SC), Final Report, 186 p. & App.*

ROTT H. and NAGLER T. 1994. **Capabilites of ERS-1/SAR for snow and glacier monitoring in alpine areas.** *Proc. of Second ERS-1 Symposium. ESA SP-361: 965-970.*

SKVARCA, P., SATOW, K., NARUSE, R. and J. C. LEIVA. **Recent thinning, retreat and flow of Upsala Glacier, Patagonia.** *Bulletin of Glacier Research, 13, 11-20.*

SKVARCA, P., ROTT, H. and MILLER, H. **Proyecto "Investigaciones Comparativas de Sensibilidad Climática y Dinámica de Glaciares en Antártida, Patagonia y los Alpes",** *(This volume).*

WARREN, C. R., GLASSER, N. F. and GREENE, D. R. **Upsala Glacier, Patagonia: rapid calving retreat in freshwater.** *Annals of Glaciology, 21 (in press).*

INVESTIGATIONS OF KING GEORGE ISLAND ICE COVER USING ERS-1/SAR AND SPOT IMAGERY

Jefferson C. Simões and Ulisses F. Bremer

Laboratório de Pesquisas Antárticas e Glaciológicas, Instituto de Geociências
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500
91501 - 970 - Porto Alegre, Brazil
Fax: (55.51) 336.1762

Abstract

This paper presents preliminary results of a study based on the analysis of SPOT multispectral HRV, LANDSAT MSS, ERS-1/SAR, aerial photographs and published maps of the ice cap and outlet glaciers of the King George Island, South Shetlands (Antarctica) covering a period of 36 years. Ice masses in this Island are relatively small, have a thermal regime that ranges from sub-polar to temperate and therefore may respond rapidly to temperature changes.

Examination of a SPOT multispectral composite allowed the identification of ice divides, drainage basins, glacier facies, crevassed areas and delimitation of the ice fringe. The transient snow line was identified at about 300-350 m above sea level. ERS-1/SAR images show marked returns of the ice divides and the limits of the ice cover, so being particularly useful for delimiting drainage basins. Satellite imagery when compared with aerial photographs taken in 1956 show that the ice fronts of some fast flowing outlet glaciers had retreat in average 800 to 1000 metres. General retreat, albeit in minor scale, seems to have occur in great part of the ice cap. Retreat of these glaciers occurred simultaneously to regional climatic warming during the last 50 years. Data derived from radio-echo sounding investigations, carried out by several nations along the last two decades, indicate that ice is covering a SE-NW trough in the centre of the Island where maximum ice thickness reaches 357 metres.

Keywords: South Shetlands, Glaciology, Sub-Polar Ice, Glacier Variations, Environmental Monitoring.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

1. INTRODUCTION

The peripheries of the polar regions under the mean position of the arctic or antarctic atmospheric fronts, coupled with the limit of the sea extend, are some of the areas of the world most sensitive to environmental changes, showing a high variability of mean atmospheric temperature (Simões, 1990). Mean temperature for parts of the Antarctic Peninsula has recorded an increase of up to 1.3° C since 1960 (Peel et al., 1988). Further, ice caps in these regions are relatively small, have a thermal regime that ranges from sub-polar to temperate, and they may respond rapidly to environmental changes. These regions seem therefore to offer a good opportunity to assess and monitor the ice response to recent past and present environmental changes. A programme was initiated to evaluate the impact of these changes on the extend and dynamics of one of these ice masses (King George Island).

In this paper ERS-1/SAR, LANDSAT MSS, and SPOT HRV images are used together with 1: 27 000 scale aerial photographs to survey and monitor the main morphological and dynamic features of King George Island ice cover. We evaluate variations of the ice masses on the southern part of this island for all or parts of the period 1956 to 1992 (i.e. since the first aerial photograph survey by the former Falkland Islands Dependency Survey - FIDS, now the British Antarctic Survey - BAS). Radio echo-sounding studies carried out by BAS, the Russian Academy of Sciences (Govorukha et al., 1974) and a Sino-Uruguayan (Albert Lluberas, written communication) surveys provided for spotted ice thickness measurements, given a general notion about bedrock morphology.

King George Island, situated between 57° 35' and 59° 02' W, 61° 54' and 62° 16' S (Figure 1), is the largest of the South Shetlands. This island is approximately 79 km long (from Southwest to Northeast) and a maximum width of 27 km is reached just north of Admiralty Bay, an it is approximately 98% ice covered. On the south coast ice flows from a ridge of plateaus into large bays and inlets mainly through defined outlet glaciers and ice falls. The northern coast is skirted by ice cliffs and few outlet glaciers basins are well defined. Ice free areas are concentrated in small peninsulas in the southern part of the island where there is the highest concentration of stations in all Antarctica (9 stations). The interior of the ice cap is still relatively unexplored, and few glaciological studies have been carried out on this ice cover (e.g., Govorukha et al, 1974, Orheim and Govorukha, 1982). Topographic maps (Series BAS D501, Sheets W 62 56 and W 62 58/first edition - D.O.S. 610) show only general contours (at 200 m intervals) of the ice cover topography. Mean annual temperature for the region is about -2.8° C (Reynolds, 1981).

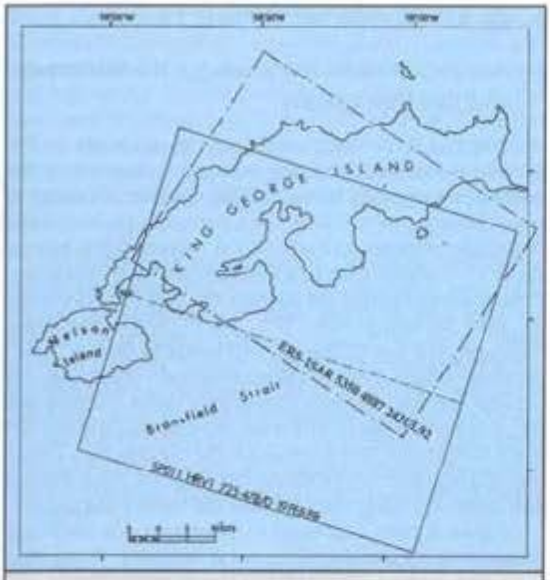


Figure 1 - Location Map for the main images (SPOT HRV XS 725-478 and ERS-1 / SAR 5350 48 87) discussed in this paper. Inset shows the location of King George Island.

We identify ice divides, drainage basins, glacier facies, crevassed areas and limits of the ice fringe for the southern part of the island. The northern part will be examined in a future paper based mainly on a SPOT HRV XS image acquired recently (March 1995).

2. DATA SOURCES AND METHODS

Table 1 below details the remote sensing information used in this study. Glaciological features of the King George Island ice cover were identified and marked on tracing paper over a print copy of a 1988 SPOT HRV XS image (KJ 725 478/0; Figure 2) at a scale 1: 100.000. Total error due to the resolution of the image and pen trace width is at the most 50 m.

Table 1. Details of satellite images, aerial photographs and radio-echo sounding (RES) surveys of King George Island, South Shetlands, examined in this study.

Data type	ID Number and path/row		Data imaged or surveyed
LANDSAT-3 MSS	30352-12171	232/103	20/Feb/79
LANDSAT-3 MSS	30352-12173	232/104	20/Feb/79
SPOT HRV XS		725-478	29/Feb/88
ERS-1 SAR PRI	5350 4887 TF PRI		24/Jul/92
FIDS aerial photographs			1956
Soviet RES survey	Overshow		1970
BAS RES survey	Flight 38		1975
Sino-Uruguayan survey			1992

The preliminary map of glaciological features obtained from 1988 data was then manually compared with maps at the scale 1: 200.000 (Series BAS D501, Sheets W 62 56 and

Figure 2 - SPOT HRV XS image (29 February 1988) of the southern part of King George Island. The scale is about 41 km across the image. The location of this image is shown in Fig. 1.

W 62 58/first edition - D.O.S. 610). These topographical maps were derived from an aerial photograph survey carried out during the austral summer of 1956/57 at the scale 1: 27 000 by FIDS. This is the oldest known remote sensing survey covering King George Island. For some selected outlet glaciers (e.g., Lange Glacier in Admiralty Bay) the original aerial photographs were examined to trace the ice front position in 1956/57 and surrounding rock outcrops. Maximum errors of 10 m are estimated for the traced positions, given a greater accuracy than those from the analysis of SPOT image print.

An ERS-1/SAR image (ID. 5350 4887 TF; Figure 3) print was provided by the Deutsche Forschungsanstalt Für Luft- und Raumfahrt - DLR. This product was obtained in precision code (PRI) form in an 1: 500 000 scale. Glaciological features (e.g., surface topography, snow and ice zones) identified in this radar image were compared with the interpretation of the SPOT image (see section 3). Finally, positive transparencies of LANDSAT Multispectral Scanner (MSS) products were also used in this study. The two images (ID. 232/103 e 232/104) were used to confirm the interpretation of the SPOT HRV and ERS-1 / SAR rather than to derive new information. The lower spatial resolution of the LANDSAT MSS means that surface details as crevasses are not easy identify and the error in the ice front determination is greater than the other two sensors.

Two RES oversnow surveys, by scientists from the former USSR in 1970 (radar frequency of 440 MHz; Govorukha et al., 1974) and a Sino-Uruguayan field work in 1991/92 (Albert Lluberas, written communication) provide some idea about bedrock topography and ice thickness. An airborne RES survey carried out by BAS in 1975 (Flight 38) provides for further data about ice thickness and bedrock morphology.

3. GLACIOLOGICAL RESULTS

3.1. Ice-cap surface morphology, ice thickness and bed topography

The ice cap, which extends over approximately 1313 km², its surface morphology strongly controlled by the bedrock topography in the SW-NE direction. A series of small non-symmetric ice domes is connected to each other in the main direction of the island. A maximum elevation of 700± 10 m, determined by a pressure altimeter, is reached in the southern part of the ice cap. Ice draining northwestern from the divide flows 8-10 km to cliffs in the Drake Passage, this part of the ice cap tends to have a quasi-parabolic shape. Flow to the southeastern coast is mainly through fast and strongly convergent outlet glaciers and abruptly ice falls that drain the ice cap plateau (at about 600 m a.s.l.) into bays. Some of these outlet glaciers (e.g. Lange Glacier) occupied well-defined depressions, have marked flow lines (e.g. King George) and are heavily crevassed.

Figure 4 plots examined in this paper. Ice thickness measurements are identify by small numbers. These data were derived from the three RES surveys cited above. The distribution of bedrock return seems to indicate that the summit of the ice cap is over a SW-NE sub-glacial ridge where ice thickness is only 86 metres. Ice thickness increases sharply to the West before decreasing when nearing the coast. It seems that a sub-glacial valley, which ice thickness frequently greater than 250 m, parallels this sub-glacial ridge. A maximum measured ice thickness of 357 metres is reached about 4 km from the divide. The absence of bedrock echoes returns for great part of the surveyed lines is not unexpected considering the high temperature of this ice cap (i.e. near the pressure melting

Figure 3 - PRI / SAR Image (24 July 1992) of the southern part of King George Island. The scale is about 53.5 km across the image. The location of this image is shown in Fig. 1. © ESA (1992).

point), the greater concentration of impurities (e.g., volcanic ashes originated from Deception Island eruptions), and inhomogeneities (e.g., ice lenses associated with melting and refreezing, (Dowdeswell et al. 1984) came to the conclusion that these conditions make ice more "Clossy" to electro-magnetic energy. The presence of turbid melt-water plumes in front of several outlet glaciers reinforces the idea that at least part of the ice cap is at the melting point.

Ice divides are well marked in the visible (SPOT) and higher frequency (ERS-1 / SAR) reflecting very slow changes in slope direction and, as usual, they were not identified as any single break of slope (cf. Rees et al., 1993) during a 1993/94. Surface undulations transversal to the flow direction (wavelength of about 1 km) are observed in great part of the ice cap. This feature has been observed in other sub-polar ice caps (e.g., Dowdeswell et al., 1986) at the same spatial scale, and are attributed to interactions of changing snow facies and surface topography (Rees et al., 1993).

3.2. Outlet glaciers fluctuations

Comparison of the satellite images with the 1956/57 FIDS aerial photographs showed that ice fronts of some fast flowing outlet glaciers had retreated markedly during the period 1956-92. Lange Glacier (drainage basin of approximately 27,8 km²) in Admiralty Bay retreated 1000 m in the period and losing an area of about 2 km², Wit Stwosz Glacier in Kraków Peninsula retreated about 800 m. General retreat, albeit in minor scale, is recorded at least for another nine fronts in this ice cover (cf. Figure 4). Exception seems to have occur in parts of the northern coast (e.g. Usher Glacier), but lack of ground control (they are few rock outcrops near this glacier) for this part of the island makes detection of changes more difficult. Other glaciers may have oscillated at a scale lower than the estimated error limit for the used method (i.e. ± 50 m).

It is tempting to attribute this general ice front retreat to the recorded regional climatic warming (cf., Section 1). Similar ice front changes were observed in other South Shetland Islands (e.g., Livingston Island; Calvet et al., 1992). However this assumption should be considered with care, glacier response to environmental changes may take decades to centuries. We may be observing the result of changes along the last centuries and other process may be also involved. For example, a glacier surge is followed by a long quiescent period when ice stagnation and thinning occur resulting in terminus retreat. No surges, however, have been observed in the South Shetlands and the examined glaciers do not show evidences for this kind of phenomena.

3.3. Surface reflectance, snow/ice facies and transient snow line position

Examination of the SPOT multispectral composite, acquired in late February, allowed the identification of a limit for two facies at the surface (ground truth carried out in the summer of 1993/94): (1) A snow facies characterised by a high surface reflectance which is tentatively attributed to a "snow facies" including the percolation and wet snow (soaked) zones (following the terminology by Benson, 1962). Shallow cores carried out by authors in the 93/94 summer seems to indicate that the summit of the ice cap is in the percolation zone; (2) "ice facies" including ablation and superimposed ice zones. This area of the ice cap is characterised by a lower surface reflectance mainly due to high content of dust in the ablation zone (including a great concentration o volcanic dust, probably originated from Deception Island eruptions). The limit between the two zones was interpreted as the position of the transient snow line at the end of the summer (at about 300 to 350 m a.s.l.). A ground survey observed that the snow-line altitude rose to 450 m by the end of the 1994/95 melting season (March).

Examination of SAR image, acquired in mid-winter, also allows the identification of two zones: (1) a zone of low backscatter at lower elevations (near the coast) and (2) a zone of high backscatter at higher elevations. However these zones do not coincide with the ones determined from the SPOT image. Taking in consideration that the SAR image was taken in mid-winter, so there is a snow-cover even over great part of the ablation area of the ice cap, we suggest the following interpretation for the two zones (following Rees et al., 1993): (1) a zone where bare ice, albeit covered thinly by winter snow, results in specular scattering away from the radar; (2) an upper zone where wet snow gives high backscatter in a different direction reducing backscattering.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

An outline the main features of the King George Island ice cover were obtained through the examination of satellite, air photographs and RES data. Previously to this study little was known about ice morphology and dynamics, glacier termini, and ice thickness. Ice cover morphology is strongly controlled by bedrock structure in the SW-NE direction. Ice reaches a maximum altitude of 700 ± 10 m and a maximum measured ice thickness of 357 m. Very few RES returns seem to indicate that at least part of ice is near or at the pressure melting point, a conclusion reinforced by the great number of melt-water plumes in front of the glaciers termini. RES surveys in other frequencies may give a better idea about ice thickness distribution.

Eleven outlet glaciers termini retreated hundreds of metres to 1 km (e.g., Lange Glacier in Admiralty Bay) during the period 1956-1992. These changes in the frontal position of glaciers are, probably, a response to regional climatic warming but further studies are necessary to confirm this hypothesis. At the end of the melting season (March) transient snow line is found, in general, at about 300-350 m a.s.l. By the end of the 1994/95 summer, however, it rose to 450 m.

Examination of a SPOT multispectral composite allowed the identification of two zones (or facies) at the snow surface. They are attributed to different reflectance for a snow facies (percolation and wet snow zones) and an ice facies (ablation and superimposed zones). Two superficial zones were also identify in an ERS-1 / SAR image but they do not coincide with the SPOT zones. The SAR image zones result from differences in backscattering. Probably, an upper zone formed by wet zone results in high backscattering and a lower zone (characterised by bare or thinly snow covered ice) results in high scattering away from the radar.

Finally, a SPOT/HRV image acquired in March 1995 will allow the study of the relatively unexplored northern part of the island.

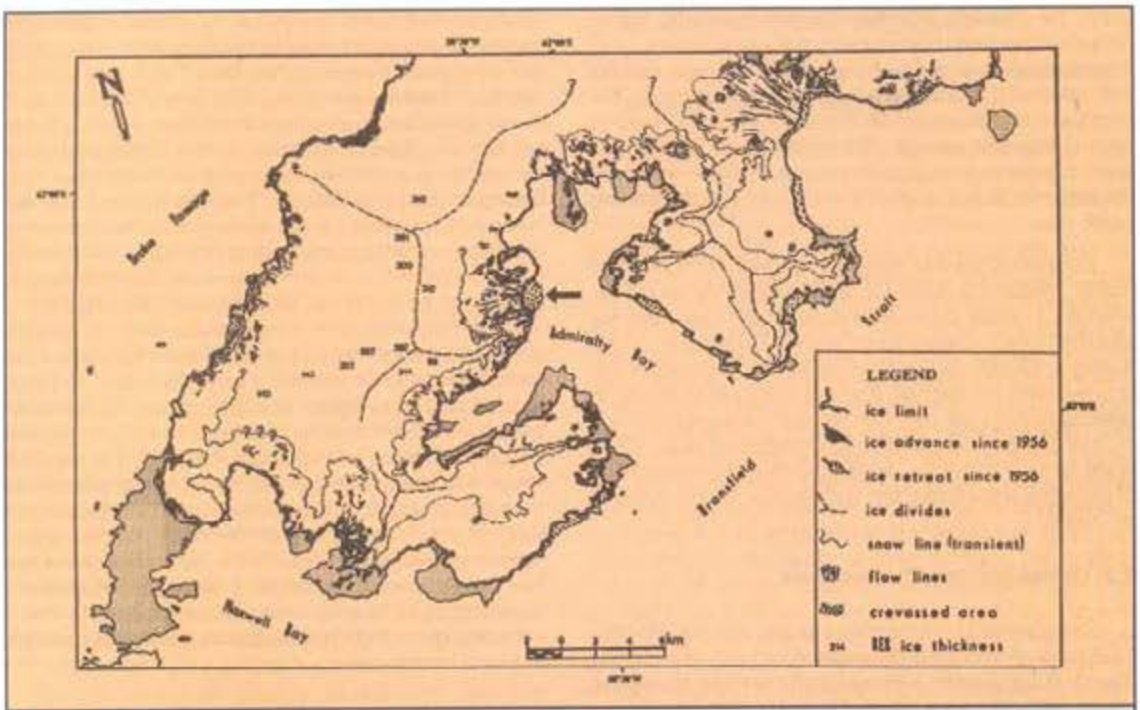


Figure 4 - Glaciological interpretation for the remote sensing data described in this paper. See text for discussions and data source. Arrow indicates Lange Glacier that retreated about 1 km in the period 1956-92.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by the Brazilian Antarctic Programme (PROANTAR) through a grant from the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), by ESA and the DLR (Deutsche Forschungsanstalt Für Luft-und Raumfahrt) through the provision of data. JCS thanks K. Reineger (DLR) for supporting this work, UFB thanks CNPq for a studentship.

REFERENCES

BENSON, C. C. 1962. **Stratigraphic studies in the snow and firn of the Greenland ice sheet.** *U.S. Snow, Ice, and Permafrost Research Establishment Research Report, No. 70. 93 pp.*

CALVET, J., CORBERA, J. and FURDADA, G. 1992. **Variacion del frente glaciar en Bahia Sur y Punta Siddons entre 1956 y 1991, Isla Livingston, Islas Shetland del Sur.** *In: López-Martinez (ed.): Geologia de la Antártida Occidental. Simpósios. III Congreso Geológico de España y VIII Congresso Latinoamericano de Geologia. Salamanca, España. p. 283-292.*

DOWDESWELL, J. A. et al. 1984. **Airborne radio echo sounding of sub-polar glaciers in Spitsbergen.** *Norsk Polarinstitutt Skrifter, No. 182. 41 pp.*

DOWDESWELL, J. A. et al. 1986. **Digital mapping of the Nordaustlandet ice caps from airborne geophysical investigations.** *Annals of Glaciology, v.8, p. 51-58.*

GOVORUKHA, L. S., CHUDAKOV, V. I. e SHALYGIN, A. M. 1974. **Radio echo sounding of King George Island (Waterloo) ice cap.** *Sovetskaya Antarkticheskaya Ekspeditsiya Informatsionnyy Byulleten, v. 89, p. 15-18.*

GRIEIM, O. and GOVORUKHA, L. S. 1982. **Present-day glaciation in the South Shetland Islands.** *Annals of Glaciology, v. 3, p. 233-238.*

PEEL, D. A., MULVANEY, R. and DAVISON, B. M. 1988. **Stable-isotope/air-temperature relationships in ice cores from Dolleman Island and the Palmer Land Plateau, Antarctic Peninsula.** *Annals of Glaciology, v. 10, p. 130-136.*

REES, W. G., DOWDESWELL, J. A. and DIAMENT, A. D. 1993. **Investigations of arctic ice-sheets and glaciers using ERS-1/SAR.** *In: Proceedings First ERS-1 Symposium Space at the Service of our Environment, France, November 1992. p. 263-268.*

REYNOLDS, J. M. 1981. **The distribution of mean annual temperatures in the Antarctic Peninsula.** *British Antarctic Survey Bulletin, No. 54, p. 123-133.*

SIMÕES, J. C. 1990. **Environmental interpretation from Svalbard ice cores.** *University of Cambridge, Unpublished Ph. D. thesis. 236 pp.*

TRABAJOS NO PUBLICADOS

Lamentablemente, a la fecha de cierre de esta Edición Especial de la Revista SELPER, los trabajos mencionados inmediatamente abajo, no habían llegado o no estaban en condiciones de ser publicados en compatibilidad con el formato de esta Revista.
Agradeceremos a las personas interesadas en estos temas, contactarse directamente con los autores, cuya dirección aparece en la página 7 de esta Edición.

LA CIRCULACION MARINA SUPERFICIAL DE MESOESCALA EN EL ESTRECHO DE BRANSFIELD (ANTARTICA) DURANTE EL VERANO AUSTRAL: UNA APLICACION COMBINADA DE TECNICAS DE TELEDETECCION Y MEDIDAS DE CAMPO.

J. FIGA (ESPAÑA)

EVALUACION DE CAMBIOS EN LA ANTARTICA MEDIANTE EL ALTIMETRO RADAR DEL ERS-1.

D. WINGHAM (U.K.)

CARACTERISTICAS SUPERFICIALES DEL HIELO PATAGONICO OBSERVADAS EN LAS IMAGENES SAR DEL ERS-1.

G. CASASSA (CHILE)
M. CACERES (CHILE)

MORFOMETRIA DE LAS FLUCTUACIONES DEL CASQUETE POLAR DE LAS ISLAS SHETLAND DEL SUR.

J. CORBERA (ESPAÑA)
J. CALVET (ESPAÑA)

ESTADO ACTUAL DE LAS TECNICAS INTERFEROMETRICAS CON LAS IMAGENES SAR DEL ERS-1.

S. COULSON (ESA)

CARACTERISTICAS BASICAS DE LA INTERFEROMETRIA SAR Y SUS POSIBLES APLICACIONES.

P. HARTL (ALEMANIA)

UTILIZACION DE IMAGENES SATELITALES ERS - 1 Y FOTOGRAFIAS AEREAS DIGITALES PARA LA ELABORACION DE PRODUCTOS CARTOGRAFICOS DE LA ZONA ANTARTICA

Carlos Rivera Menares
Viviana Barrientos Lardinois

Servicio Aerofotogramétrico - Fuerza Aérea de Chile
Casilla 67, Los Cerrillos - Santiago de Chile
Tel: (56.2) 557.2003 y 557.3973, Fax: (56.2) 557.0077

Summary

The aim of this presentation is to establish a methodology using digital aerial photograph and satellite radar image ERS - 1 to produce special aeronautical charts for the Chilean Air Force. Also, this methodology may allow to monitor morphological changes of one part of the King George Island.

I. INTRODUCCION

Desde la creación, en el año 1963, del Servicio Aerofotogramétrico, y durante sus 31 años de constante actividad, el S.A.F. ha buscado satisfacer tanto las necesidades propias de la Institución, como las de aquellos organismos gubernamentales, fiscales y particulares, encargados de la planificación y la toma de decisiones, entregando información que permita un adecuado conocimiento de nuestro territorio, un mejor aprovechamiento de los recursos y una mayor protección del medio ambiente.

El S.A.F. se ha planteado como uno de sus desafíos futuros más importantes, modernizar el equipamiento, la tecnología y la infraestructura que posee, para con ello situarse a la par de otras entidades nacionales y extranjeras, en materia de análisis digital de imágenes, fotogrametría y cartografía. El trabajo, que a continuación se expone, intenta, por una parte, dar a conocer algunas de estas nuevas capacidades.

En el marco de las jornadas de trabajo de Ushuaia, se buscó generar un producto cartográfico a partir de imágenes de radar ERS-1, el cual sirviera de apoyo a las actividades desarrolladas por la Fuerza Aérea en el continente blanco y que, a su vez, pudiese ser de utilidad a la labor científica que se desarrolla en la Antártica. Igualmente, se pensó integrar fotografías aéreas e imágenes de radar ERS-1, en la formulación de una metodología para la producción de una cartografía aeronáutica y para la realización de estudios multitemporales en la zona.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Dar a conocer, a nivel de la comunidad científica en percepción remota, las capacidades que posee el Servicio Aerofotogramétrico S.A.F., en el manejo digital de imágenes.

B. Objetivos Específicos

1. Establecer una metodología de trabajo, que integre las fotografías aéreas digitalizadas y las imágenes de radar ERS-1.
2. Generar productos cartográficos, con la tecnología e imágenes que posee el S.A.F., que sirva de apoyo a las actividades propias de la Fuerza Aérea en el Territorio Antártico.
3. Constatar los cambios en la cubierta de nieve de la Isla Rey Jorge, por medio de un estudio multitemporal y multimedios.

III. METODOLOGIA

La metodología utilizada para este estudio se basa en la compilación de todos los antecedentes cartográficos, bibliográficos y de imágenes que actualmente están disponibles en el S.A.F..

IV. AREA DE ESTUDIO

El trabajo que aquí se expone, se realizó en el sector norte de la Isla Rey Jorge, entre los 61° 50' - 62° 00' de Latitud Sur y los 58° 10' - 58° 30' de Longitud Oeste. En esta zona destacan el Glaciar Eldred, Punta Redonda y Punta Poltinger. La Isla Rey Jorge se encuentra ubicada a 1.000 kmts. de la ciudad de Punta Arenas y a 100 kms. de la Península Antártica, siendo uno de los lugares australes más querido por la Fuerza Aérea, puesto que en ella se encuentra Villa Las Estrellas.

V. MANEJO DE LA DATA

Las imágenes ERS-1, de Julio de 1992 y Febrero de 1993, utilizadas en este trabajo, fueron facilitadas por el

«Programa de Percepción Remota y SIG de la Pontificia Universidad Católica de Chile". Las imágenes convertidas de 16 a 8 bits, fueron procesadas tanto en el software de manejo digital de imágenes raster, «ERDAS Imagen", como en el Software Gráfico «Adobe Photoshop".

Del archivo histórico del S.A.F., se obtuvieron fotografías aéreas, escala 1:20.000, para los años 1954 y 1984. Cada uno de estos fotogramas , fue convertido a formato digital por medio de escaneo. Con el Software "Photoshop" se formó un mosaico, para cada fecha, el cual fue ajustado en brillo y contraste, para compensar las diferencias en densidades de los negativos originales.

La Cartografía base utilizada para el ajuste cartográfico, corresponde a una carta 1:250.000 preparada por el "Instituto Geográfico Militar", la que fue digitalizada y procesada con el SIG "Arc-Info".

Los datos meteorologicos del "Centro Meteorológico Antártico Eduardo Frei", fueron proporcionados por la "Dirección Meteorológica de Chile". Estos datos fueron utilizados con fin de establecer el comportamiento meteorológico observado en el área de estudio, en las distintas fechas en que se disponían imágenes.

VI. PROCESAMIENTO

La aplicación de distintos filtros sobre las imágenes originales, permitió comprobar, que para aquellas imágenes captadas de modo descendente, el filtro de paso bajo de 3 x 3 resultó el más adecuado, puesto que posibilitó la supresión de gran parte del ruido, sin perjudicar considerablemente la textura de la imagen original, lo cual resulta importante para la realización de una cartografía aeronáutica de vuelo visual. Por medio de una clasificación no supervisada y según los valores de los pixeles, se les aplicó color a las imágenes originales. De este modo, no sólo se generó un producto visualmente atractivo sino que permitió diferenciar, sobre la superficie del área emergida, una zona que se denominó de nieve y otra de hielo. Al interpretar la imagen, se observó que la zona de hielo estaba principalmente asociada al avance del glaciar. En la imagen tratada se visualiza claramente, que el glaciar se encuentra comprimido en el área norwoste y que avanza libremente siguiendo la dirección de la pendiente, hacia el Paso Drake.

Con el Software "Adobe Photoshop" se pudo aplicar sobre la imágenes de radar originales, filtros de desfreckle y de ajuste de brillo y contraste, lográndose imágenes más depuradas. Por medio de la interpretación visual, se procedió a colorear las imágenes resultantes, obteniéndose una clara diferenciación entre el mar, el hielo flotante y la cubierta de nieve. Este proceso, aunque visualmente muy atractivo, trajo como consecuencia una pérdida en las ondulaciones del relieve. Este producto final podría resultar útil para la realización de una carta de navegación visual a escala mediana y para observar el desplazamiento de los hielos flotantes (pack-ice), pero no resulta muy adecuado para producción de cartografía a escala grande o para estudios de las zonas emergidas antárticas.

Las fotografías aéreas de los años 1954 y 1984, fueron convertidas a formato digital por medio del escaneo, y con ellas se realizaron dos mosaicos, en los cuales la línea de costa quedaba firmemente resaltada. En el interior la pérdida de los detalles por la fuerte reflectancia de la nieve y la presencia de nubes, dificulta la apreciación del relieve. El producto obtenido guarda una gran fidelidad en la representación de las líneas de costa, pero no es útil para representar las zonas interiores.

Con la cartografía digitalizada como base, se efectuó el ajuste cartográfico de cada una de las imágenes de radar y de los mosaicos fotográficos, tomándose como puntos coincidentes, los rasgos mas sobresalientes de la línea de costa. Considerando la diferencia de ángulos entre las fotografías aéreas y las imágenes, los puntos utilizados, las deformaciones geométricas que tienen las imágenes de radar y uso del mosaico fotográfico y no de las fotografías individuales, el calce no resultó adecuado.

Teniendo en cuenta el valioso aporte que las fotos de 1954 podrían aducir a la visualización de los cambios en la cubierta de nieve y en la forma que la línea de costa ha tenido a través de los años, se decidió trabajar con el mosaico de 1954, la cartografía compilada en 1984 y las imágenes de 1992 y 1993. Al observar el borde costero del mosaico del año 1954, la línea de costa de la carta y el contorno en las imágenes de radar, quedan en evidencia los cambios que esta frontera ha experimentado a través de los años.

Con las dos imágenes de radar y el mosaico fotográfico georreferenciado, se compuso una imagen en tres bandas, buscando obtener como resultado una diferenciación cromática entre las áreas que han experimentado cambios, de aquellas que no lo han tenido. Pero a causa de los problemas de calce, el producto fue rechazado, pero no así la metodología empleada. Cabe señalar que resulta preferible, primero corregir cartográficamente cada uno de los fotogramas, para luego formar el mosaico.

En el año de 1954 el hielo del glaciar, se encuentra retraído en relación a la línea de costa de la carta, en cambio se observa un avance de éste, al comparar la línea de costa de la carta con la observada en las imágenes radar. Considerando las condiciones meteorológicas, se dedujo que la situación de temperaturas frías y con mayor cantidad de precipitaciones líquidas y sólidas, de los años 1954 y 1984, retardarían el movimiento del glaciar. En tanto el aumento de las temperaturas y la menor cantidad de precipitaciones observadas en los años 1992 y 1993, aceleraron el movimiento del glaciar, representado por un aumento en las crevass y un mayor desprendimiento de hielo hacia el mar en el Paso Drake.

VII. CONCLUSIONES

La metodología empleada, no solo permitió despertar en el Servicio Aerofotogramétrico la necesidad de trabajar con imágenes ERS-1, utilizando para ello gran parte del nuevo equipamiento computacional que posee, sino también, generar productos cartográficos por medio de imágenes de radar ERS-1, que sean de rápida comprensión por parte de nuestros usuarios.

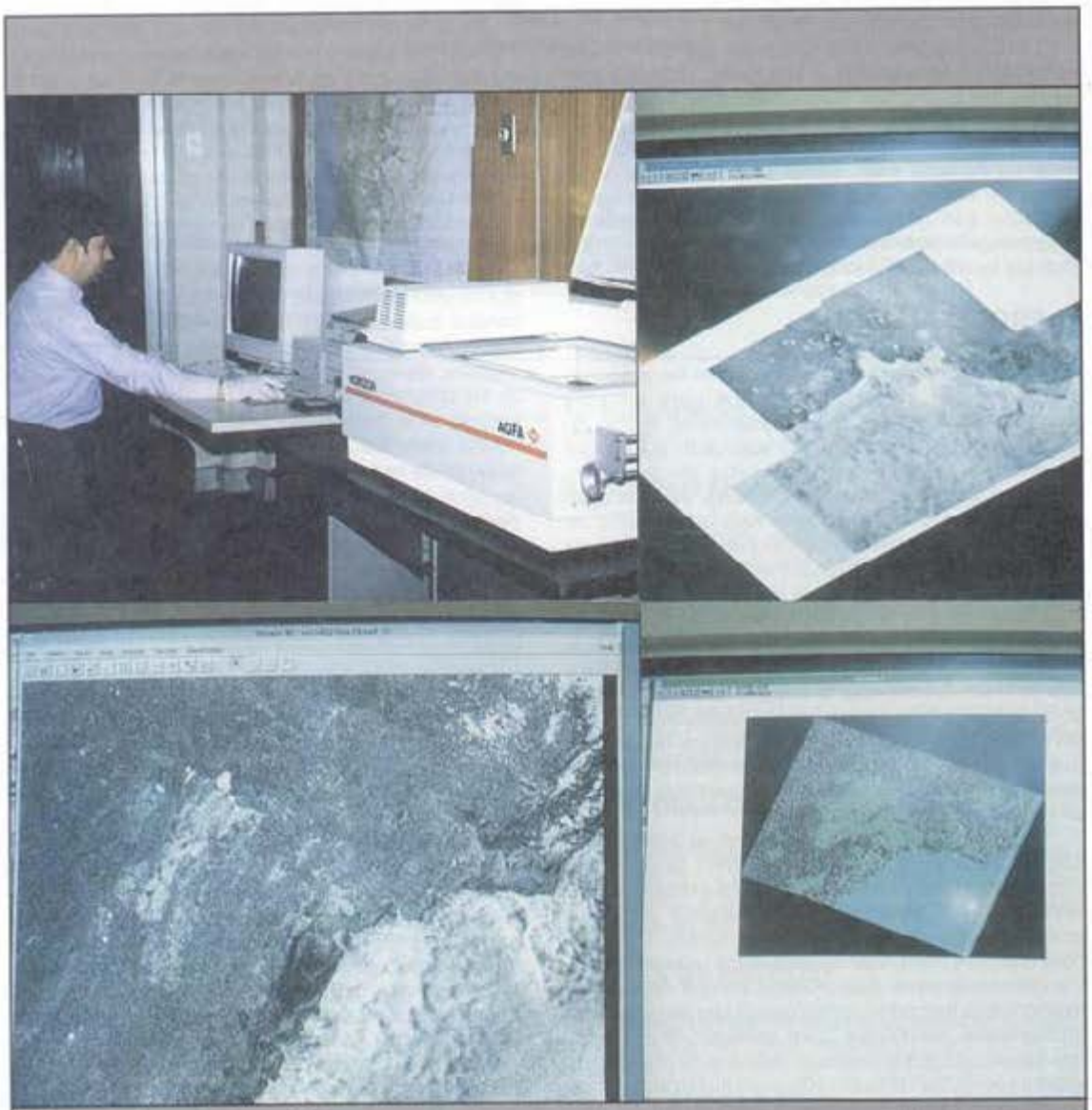
Con las imágenes y el mosaico corregido cartográficamente, fue posible establecer el procedimiento para generar cartas - imágenes de navegación aérea y también llegar a estudiar los cambios en la morfología del territorio antártico, con el propósito de planificar nuevas rutas de vuelo, nuevos asentamientos y nuevas vías de exploración.

Las diferencias de ángulo de toma de las fotografías aéreas (central), de las imágenes ERS-1 (lateral) y la cartografía (ortogonal) y los problemas de ajuste cartográficos, trajeron como consecuencia que la unión de las imágenes a nivel digital no proporcionarán un producto

visualmente comprensible para nuestros usuarios. Acrecentado todo esto por la diferencia de resolución espacial que tienen la distintas imágenes utilizadas.

El calentamiento global de la atmósfera, corroborado con la data meteorológica, y la disminución paulatina de las precipitaciones, aceleró la ruptura de los hielos y su posterior caída al mar. Igualmente, los cambios meteorológicos agilizaron los movimientos del Glaciar Eldred. En la actualidad se observa que el glaciar se encuentra fuertemente comprimido en su lado norweste, en tanto que por la zona noreste se evidencia un fuerte agrietamiento. En el área oeste de la zona de estudio presenta un gran número de fisuras en el hielo, hielos que posteriormente caerán al mar.

Es posible resumir que los estudios multitemporales, permitieron zonificar los cambios experimentados en la línea de costa, en los últimos 40 años. Aunque aun resulta imposible establecer concluyentemente la causa y la tendencia futura de estos cambios.



1	3
2	4

Foto Nº 1. Equipamiento Computacional del Servicio Aerofotogramétrico para el manejo digital de imágenes.
Foto Nº 2. Localización del área de estudio, subescena de la imagen radar original de 1993.
Foto Nº 3. Mosaico Fotográfico georreferenciado, compuesto por fotografías aéreas del año 1954, con las curvas de nivel de la carta digitalizada.
Foto Nº 4. Imagen radar georreferenciada y procesada.

INVESTIGACION DE LA DINAMICA DE LA CAPA DE NIEVE DE KING GEORGE ISLAND Y DE UNA REGION COSTERA DE MARGUERITE BAY (ANTARTICA) POR MEDIO DE IMAGENES SPOT Y ERS-1

S. Wunderle & H. Gossmann

Institut für Physische Geographie, Universität Freiburg
Werderring 4, D-79085 Freiburg
email: swun@rhein.ipg.uni-freiburg.de

Resumen

Con la utilización de diferentes sistemas de percepción remota, tanto activos como pasivos, es posible analizar la dinámica de la capa de nieve y de los procesos resultantes en diferentes regiones de la Península Antártica. Eso abre la posibilidad de confeccionar mapas para documentar el proceso de deshielo con todas sus variaciones temporales y espaciales en regiones de grandes extensiones. Los productos obtenidos por el procesamiento de imágenes de percepción remota son herramientas importantes para futuras investigaciones de biólogos y glaciólogos.

El Instituto de Geografía Física de la Universidad de Freiburg (RFA) continuará con sus investigaciones sobre la dinámica de la capa de nieve en la Antártica, tanto en regiones periglaciales como glaciales. Estas actividades forman parte integral del trabajo del grupo de científicos del "Monitoring of Dynamic Processes in Antarctic Geosystems - MODPAG".

Este proyecto de investigación contó con la generosa ayuda del "Bundesministerium für Forschung und Technologie" (BMFT), organismo del Gobierno Federal Alemán. Igualmente quisiéramos mencionar la valiosísima colaboración de nuestros socios en Argentina: el Instituto Antártico Argentino (IAA) y la Provincia Tierra del Fuego (Argentina).

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

1. INTRODUCCION

El hielo de la Península Antártica solamente equivale al 0,7 % de la masa total del hielo antártico (Drewry, 1991). Su influencia en futuros cambios del nivel de mar es por ende pequeña. Pero el hecho de que la magnitud media de los glaciares es inferior y que además la temperatura del aire de los meses más calientes alcanza los 0°C deja suponer un tiempo corto de reacción frente a cambios climáticos.

El contraste este-oeste y la gran extensión norte-sur de la Península Antártica tienen como resultado una gran diferenciación tanto climatológica como de la hidrología del manto de nieve. La costa oeste con su marcada influencia marítima tiene una temperatura media anual que supera por 5° K al valor de la costa este. Además la costa oeste registra los montos de precipitaciones más altos de toda la Antártica (Reynolds, 1981). Las diferencias entre las partes norte y sur de la Península Antártica se producen debido a las condiciones de radiación y a las diferencias de distancia frente a los trayectos usuales de los centros de baja presión que nacen en el Mar de Bellingshausen.

Hoy parece ser probable que la cantidad de precipitaciones en la Península Antártica ha aumentado en los últimos 30 años (Bromwich, 1988, 1993; Peel, 1992). El factor decisivo para este aumento de las precipitaciones es el alza de la temperatura del aire por 0,9° K en la zona durante estos mismos años (Morris, 1992). Los factores esenciales para la formación de la capa de nieve son las condiciones metereológicas y el monto de precipitaciones caídas. La gran variabilidad de estos parámetros meteorológicos se refleja en las estructuras espaciales y temporales de la formación de la capa de nieve y de su ablación (Rundle, 1969; Peel, 1992).

La dinámica de la capa de nieve es entonces un elemento importante del balance de masa de los glaciares y un indicador de gran importancia para los aspectos térmicos e hidrográficos del cambio climático.

2. ZONAS DE INVESTIGACION Y CAMPAÑAS DE TERRENO

Para la investigación de la dinámica de la capa de nieve se eligieron dos regiones de investigación con marcadas diferencias climáticas. En primer lugar la Potter Peninsula en King George Island, libre de glaciares y sujeta a una marcada influencia oceánica, donde se esperaba encontrar grandes variaciones estacionales en la extensión del manto de nieve y de sus características. La segunda zona de investigación es un campo de hielo al borde de Marguerite Bay, expuesto a un clima más continental. En total se realizaron tres expediciones a la Antártica: la primera en el mes de Diciembre de 1991, la segunda de Noviembre a Diciembre de 1992, las dos con destino a Potter Península, y, además, una tercera, de Enero a Marzo de 1994 a Marguerite Bay. La ayuda extensa prestada tanto por los científicos como por las tripulaciones de las Bases del Ejército Argentino de

Jubany (King George Island) y San Martín (Marguerite Bay) facilitaron en alto grado las investigaciones. Además quisiéramos mencionar la valiosa colaboración del "Alfred-Wegener-Institut" (AWI) de Bremenhaven/RFA y de la tripulación de la nave "Polarstern".

Ilustración Nº 1: La Península Antártica con la ubicación de las dos zonas de investigación. La Potter Península, con la base argentina Jubany, se encuentra en King George Island, South Shetland Islands. En la costa oeste de Marguerite Bay, encima de una pequeña isla, frente al farellón de hielo, se encuentra la base argentina San Martín. Al este del farellón de hielo se extienden el Northeast Glacier y el McClary Glacier por más de 12 km.

3. LA DINAMICA DE LA CAPA DE NIEVE EN KING GEORGE ISLAND

La dinámica de la extensión de la capa de nieve y de su espesor tienen una gran influencia sobre el clima de la Península Antártica y las formas de vida que allí existen. La extensión de la capa de nieve suele variar muy rápidamente, de acuerdo a la circulación global y al clima local. Investigaciones en las zonas marginales de la Antártica exigen un monitoreo constante y frecuente de la región investigada por medio de diferentes sistemas de percepción remota. Además se necesitan estudios esmerados en terreno para medir los parámetros correspondientes de la capa de nieve.

Dado que el clima es predominantemente marítimo, con una temperatura media anual de alrededor de -2°C, en King George Island no se encuentran zonas con nieve seca durante todo el año. Como consecuencia, la capa de nieve en toda la isla está expuesta al proceso de derretimiento y cantidades importantes de agua de deshielo son llevadas a las aguas costeras.

La imagen Nº 2 del sistema SPOT, que cubre una gran parte de King George Island, fue registrada en el modo multiespectral. En el estudio de los flujos de sedimentos en la zona costera solamente se utilizó el canal Nº 1 de las ondas cortas, para aprovechar la mayor capacidad de penetración de la radiación en estas frecuencias (0,5 - 0,59 µm).

La reproducción cualitativa de los transportes de sedimentos del mes de Febrero de 1988 otorga una impresión del trabajo de erosión del agua de deshielo bajo la superficie del glaciar. Las zonas representadas con rojo claro indican las tasas más altas de sedimentación. Estas se encuentran primordialmente en la Admiralty Bay y al norte de la Barton Península en Marian Cove. Una concentración inferior se distingue con colores oscuros, de verde a azul. Llama la atención la debilidad del transporte de sedimentos proveniente de Potter Península hacia la Potter Beach y las aguas costeras cerca de Stranger Point. El cono aluvial, que se vierte en la Potter Beach, se alimenta por lo tanto principalmente por el transporte de material que toma lugar en el tiempo de deshielo en la Península y en el frente del glaciar. El agua del tiempo de deshielo posterior en las regiones más altas escurre solamente en pequeña parte por la puerta del glaciar, la mayor parte desaparece en los grietas del glaciar y es llevada a otras cuencas hidrológicas. Este proceso explica las altas concentraciones de sedimento en Marian Cove, cuya zona de captación debe ser mucho más grande en la zona subglacial que en la superficie del ventisquero. La evaluación de los datos de percepción otorga entonces la posibilidad de obtener las primeras deducciones sobre las zonas subglaciales de captación de agua y los transportes de sedimentos que son causados por el deshielo, es decir por la dinámica de la capa de nieve. Si se quisieran obtener datos más exactos sobre estos procesos, deberían aplicarse substancias de "tracer" por una gran área, acompañadas con la instalación de muchos puestos de toma de muestras en el terreno.

Para la expedición del año 1992 a las South Shetland Islands se pidió a la organización de "SPOT-Image" un registro de la zona de investigación King George Island que garantizó durante 3 "ventanas de tiempo" una exploración exitosa de la región. Las tres tomas pancromáticas del sistema SPOT se registraron el 3 de Noviembre, el 18 de Noviembre y el 21 de Diciembre de 1992. Las imágenes, que alcanzaron a captar a la Potter Península libre de nubes, fueron superpuestas y después clasificadas sin supervisión. Gracias a las diferencias de reflexión del suelo y de la nieve se pueden distinguir en cada una de las imágenes las áreas cubiertas de nieve. El resultado gráfico obtenido por la clasificación muestra el retroceso de la capa de nieve con sus diferentes fases en distintos tonos de azul. Las zonas libres de nieve, el día 3 de Noviembre de 1992, son reproducidas en azul oscuro. Ellas abarcan solamente una superficie de 0,13 km² (2,3 %), que se limita principalmente a Three Brothers Hill y a unos farellones en la costa sur. Por las altas temperaturas del aire, que se mantenían constantemente desde el día 10 de Noviembre sobre el punto de congelación, la capa de nieve que se encontraba sobre las morenas, se deshizo rápidamente por su pequeño espesor. Las áreas

reproducidas en azul intermedio muestran un aumento de la superficie libre de nieve en 2,99 km². Esto representa a más del 50 % del terreno total de esta zona, que se liberó de su manto de nieve en sólo 8 días de deshielo intensivo. Para el 21 de Diciembre el proceso de deshielo en la Potter Península casi había terminado. Solamente zonas pequeñas (0,26 km²) se encontraban todavía con un manto de nieve. Debido al alto contenido de agua en la capa de nieve, a principios de Diciembre se deslizaban avalanchas desde la punta del glaciar, dejando al descubierto partes de la superficie del hielo.

4. DINAMICA DE LA CAPA DE NIEVE EN MARGUERITE BAY

La investigación de la capa de nieve en Marguerite Bay se desarrolló en base de imágenes de radar del sistema ERS-1. La comparación de las imágenes del 7 de Febrero de 1994 con la del 6 de Febrero de 1992 demuestran la gran variabilidad del proceso de deshielo en la misma estación de año. La mayor fuerza de ablación en el verano de 1992 no solamente se puede constatar por la muy pequeña intensidad de la retrodifusión causada por la nieve mojada, sino que se demuestra, sobre todo, por la visibilidad de la textura de la superficie en el Northeast Glacier y entre Butson Ridge y el farellón de hielo. Después de una fase bastante larga de deshielo se dibuja la estructura de la superficie del ventisquero a través de la capa de nieve con su espesor inferior.

Mientras que durante el invierno se acumulan en las depresiones de la superficie del glaciar grandes cantidades de nieve, en las zonas más altas del glaciar solamente se puede mantener una capa de nieve de un espesor diminuto, debido a los fuertes vientos que sobrevienen frecuentemente. Al final del verano se congelan los decímetros superiores de la capa de nieve, efecto del balance de radiación negativa o de los vientos catabáticos, los cuales se llevan muy eficazmente la energía térmica almacenada en el manto de nieve. La fuerte retrodifusión de la superficie del mar, además que los remolinos de sotavento en Neny Island y Millerand Island indican la existencia de fuertes vientos del este al momento del registro de la imagen del 6 de Febrero de 1992. La capa de nieve encima de las elevaciones del terreno con su espesor pequeño se congela hasta la superficie del glaciar, así que ya no se encuentran cantidades significativas de agua líquida. La difusión del volumen y la reflexión en los horizontes de hielo aumentan la retrodifusión, por lo que estas zonas aparecen en un gris más claro. El contenido mayor de agua líquida en las zonas más bajas, ya que absorbe una parte de la radiación de radar, hace que las depresiones aparezcan en un tono bastante oscuro. En comparación con la imagen del 1 de Febrero de 1994, la retrodifusión de la capa de nieve aumentó, lo que deja suponer una disminución del contenido de agua líquida hasta el 7 de Febrero.

A principios de Marzo, el balance negativo de la radiación en conjunto con temperaturas que se mantenían constantemente bajo los 0°C, se hicieron notar también en las estratos bajos de la capa de nieve. El contenido de agua líquida disminuyó constantemente, lo que facilitó una penetración más profunda de las ondas del radar. La retrodifusión del Northeast Glacier alcanza en la imagen del 3 de Marzo de 1994 aproximadamente los valores que se pudieron observar durante todo el período de medición encima del McClary Glacier. Las depresiones llenas de nieve en el noreste de Millerand Island están congeladas y se ven en un tono muy claro.

Ya que el balance de radiación ya no es suficiente para descongelar la capa de nieve recién caída, el aumento del contenido de agua líquida en la capa de nieve del 15 de Marzo de 1994 solamente se puede explicar por procesos advectivos de gran escala, que conducen masas de aire caliente hasta la zona, o por un evento de "Föhn. Esta última explicación se puede deducir por la presencia de los remolinos de sotavento en Neny Island, lo que indica vientos provenientes de la dirección del Northeast Glacier.

Durante el órbita de 3 días del ERS-1, de Enero hasta Marzo de 1994, se instaló en la zona de confluencia del McClary Glacier y del Northeast Glacier un campamento sobre el hielo, con el fin de poder determinar los principales parámetros de la nieve al mismo tiempo que ocurren los sobrevuelos del satélite. La región de investigación en el sector angosto se marcó con cuatro reflectores angulares [corner reflectors] (A1, A6, D2, D6). Estas estructuras metálicas producen una señal fuerte en la imagen de radar, ya que solamente absorben una pequeñísima parte de la energía entrante, y en consecuencia reflectan la mayor parte de ella. En total se disponía de 10 imágenes del ERS-1/SAR para documentar las variaciones a corto plazo de la capa de nieve. La primera imagen se registró el 20 de Enero, la última el día 15 de Marzo. En la representación RGB (Red-Green-Blue = Rojo-Verde-Azul), que se compone de imágenes del 26 de Enero, del 7 de Febrero y del 3 de Marzo, se pueden distinguir diferentes zonas en los glaciares. Por marcos cuadráticos (Nº 1 - Nº 5: se definieron algunas zonas, para las cuales se calcularon los coeficientes de retrodifusión para las imágenes procedentes de diferentes fechas.

El cuadrado Nº 1 representa una parte del McClary Glacier con una altitud de 500 m sobre el nivel del mar, mientras que la superficie marcada Nº 4 en el Northeast Glacier está localizada a una altura de 300 m. Las zonas de investigación paralelas al farellón de hielo (Nº 2, Nº 3 y Nº 5) representan niveles de altura de 50 m a 150 m. La retrodifusión superior en el cuadrado Nº 5 refleja la influencia de la exposición y de la textura de superficie en la zona de grietas. Las superficies Nº 2 y Nº 3 son representativas para la zona de investigación propiamente tal entre los 4 reflectores angulares. El coeficiente medio de retrodifusión durante el plazo entre el 20 de Enero y el 15 de Marzo está reproducido en el siguiente gráfico para las superficies de investigación. Los coeficientes de retrodifusión se calcularon por una ventana de 9 x 9 puntos de imagen [pixel]. Después se calcularon promedios para todas las superficies marcadas, con el fin de suprimir pequeñas irregularidades. Como comparación se representan gráficamente también los coeficientes de retrodifusión de las mismas superficies del 16 y del 19 de Agosto de 1993. La imagen del 19 de Agosto de 1993 proviene, igual que todas las imágenes del 20 de Enero hasta el 15 de Marzo de 1994, de un órbita ascendente, así es que los ángulos de entrada de las ondas electromagnéticas hacia las superficies bajo observación son casi idénticos.

Mucho más dinámica se presenta la situación durante los meses de verano. Las altas temperaturas de Enero, con valores de más de 5° C, fueron responsables por el alto grado de humedad en la capa de nieve de las zonas Nº 2,

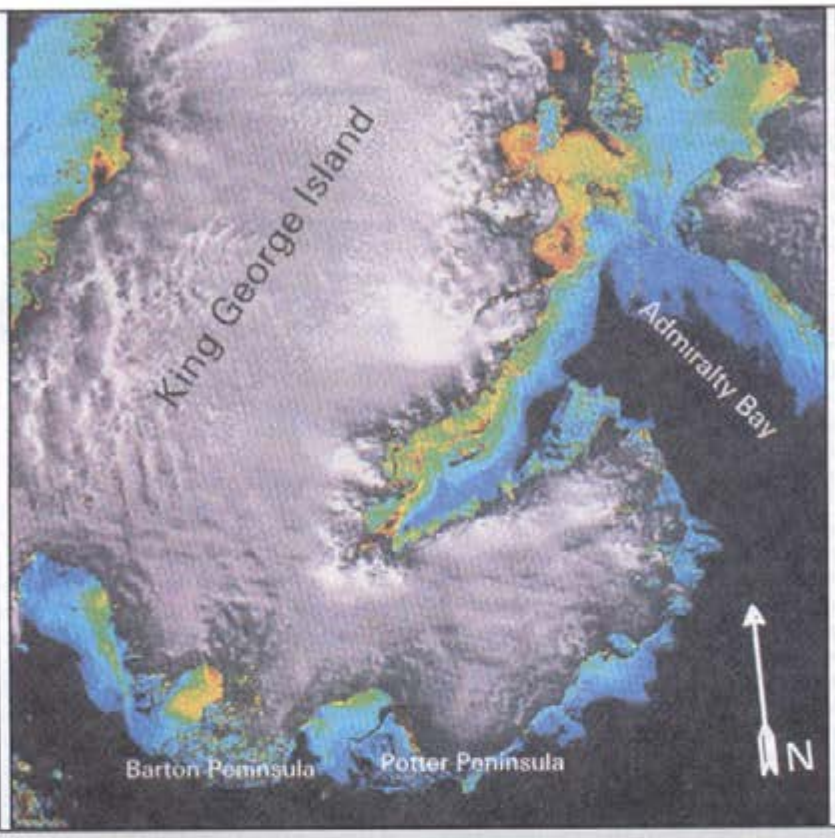


Ilustración Nº 2: Cargas de sedimentos en la zona costera de King George Island, deducido del canal espectral Nº 1 (0,5 - 0,59 μm) del sensor SPOT-XS. Los colores rojo y amarillo indican una alta concentración de sedimentos, los colores verde y azul una baja concentración. Las zonas periglaciales libres de hielo y nieve (Potter Península y Barton Península) igualmente aparecen en colores azulados o verdosos.

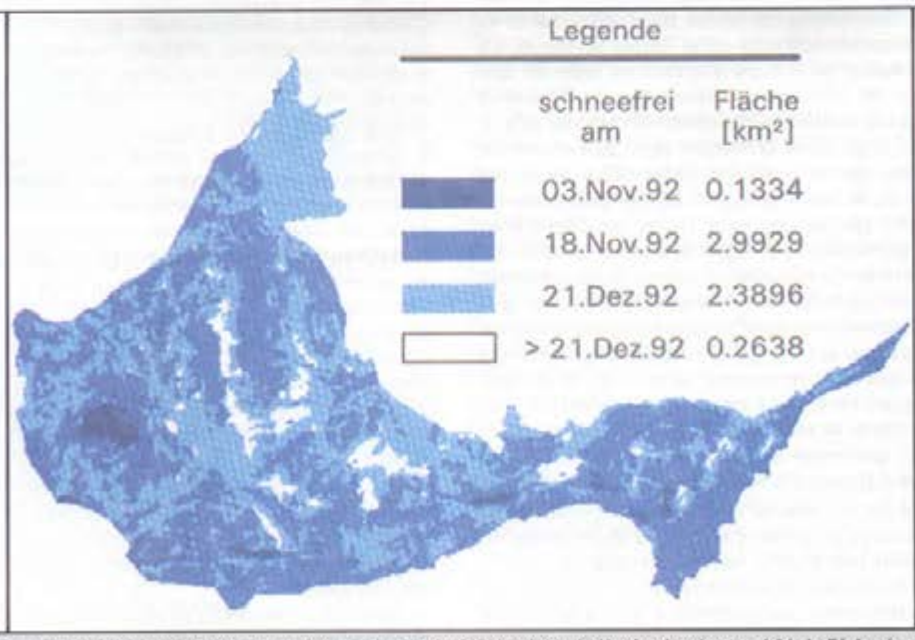


Ilustración Nº 3: Retroceso de la capa de nieve en Potter Península, del 3 de Noviembre hasta el 21 de Diciembre de 1992, deducido de 3 imágenes pancromáticas de SPOT. Las áreas libres de nieve en cada una de las fechas de registro son representadas en diferentes tonos de azul.

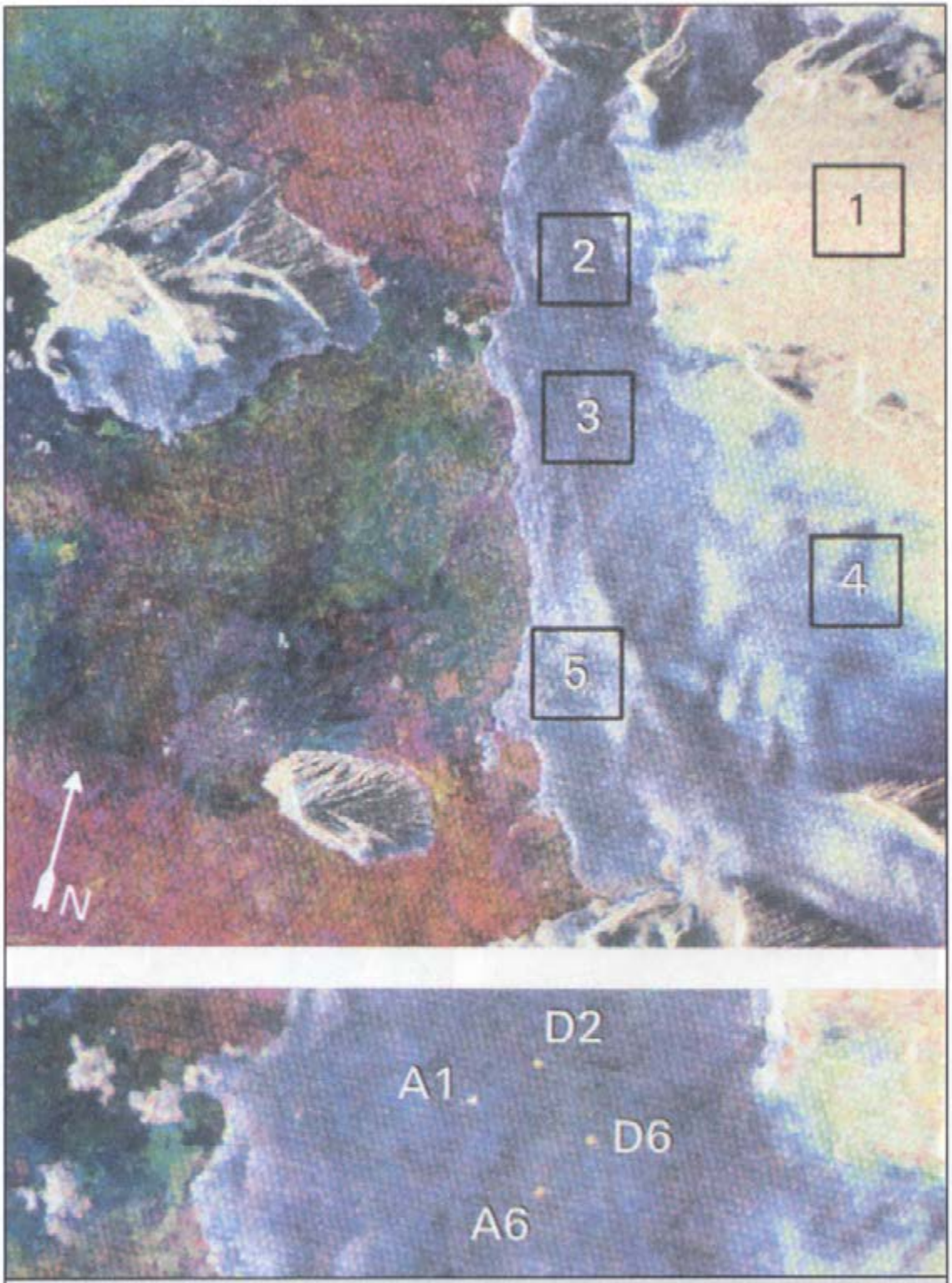
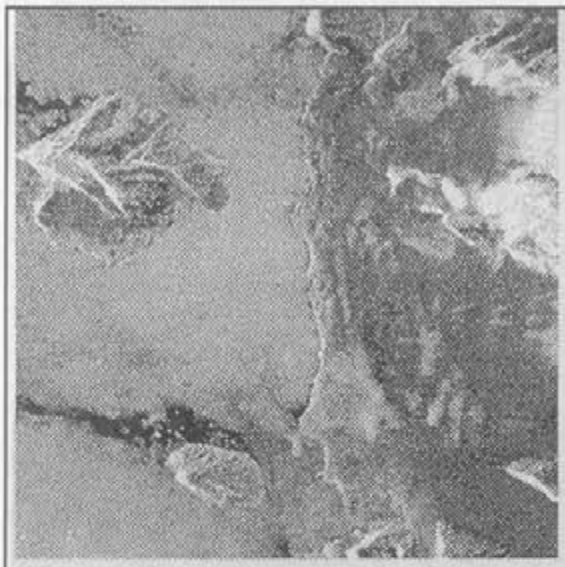
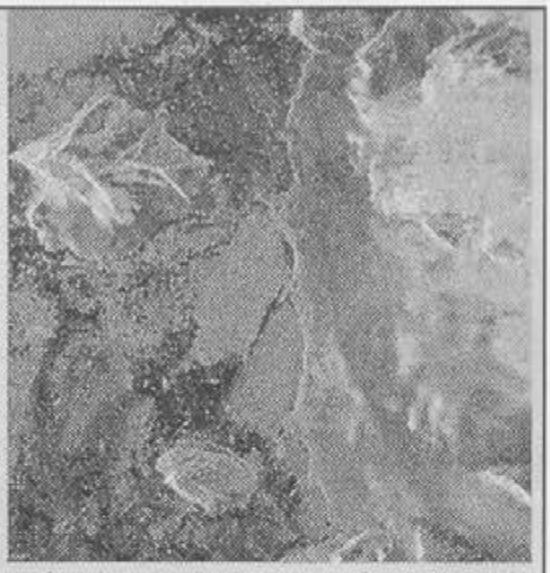


Ilustración Nº 5: Compuesto en colores de las zonas de investigación de McClary Glacier y de Northeast Glacier, elaborado de tres imágenes del ERS-1, del 26 de Enero, del 7 de Febrero y del 3 de Marzo de 1994. En la parte baja de la reproducción, una ampliación parcial demuestra los 4 reflectores angulares (A1, A6, D2 und D6) en el McClary Glacier. Los cuadrados (Nº 1- Nº 5: marcan superficies, dentro de las cuales se calcularon los coeficientes de retrodifusión. McClary Glacier = 1; la parte más baja del McClary Glacier = 2; Northeast Glacier = 4; la parte más baja del Northeast Glacier = 3; Zona de grietas en el Northeast Glacier = 5.

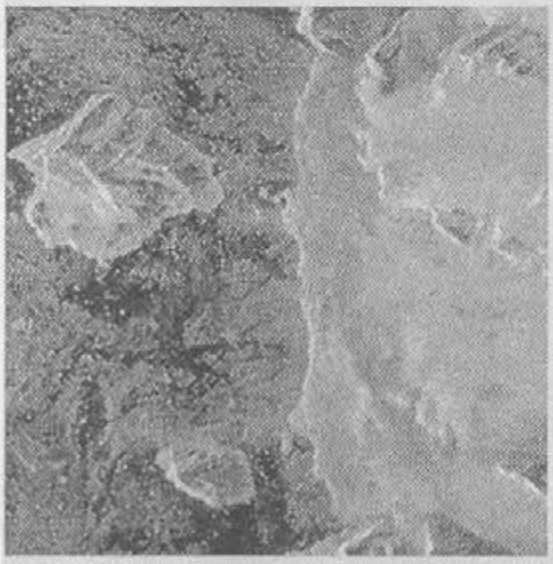
Nº 3 y Nº 5. Los coeficientes de retrodifusión alcanzaron por ende valores de -19 dB hasta -13 dB. La textura rugosa de la zona de grietas (Nº 5) junto con la exposición al sensor aumenta la retrodifusión en 6 dB. El contenido bajo de humedad de la capa de nieve del McClary-Glacier tiene como resultado un coeficiente de retrodifusión de -6 dB (Nº 1). El calentamiento de la capa de nieve por la temperatura y la radiación fueron suficientes para aumentar de modo significativo el contenido de agua liquida al nivel de los 300 m en el Northeast Glacier (Nº 4). De eso resulta la pequeña retrodifusión de -17 dB. Debido al descenso de las temperaturas del aire durante las semanas siguientes, el contenido de agua liquida disminuyó constantemente y la retrodifusión aumentó. Un corto episodio de altas temperaturas solamente se hizo notar en las superficies Nº 2 y Nº 3. Desde el 26 de Enero de 1994 el McClary Glacier (Nº 1) muestra valores de retrodifusión netamente invernales, lo que tiene como explicación la ausencia de



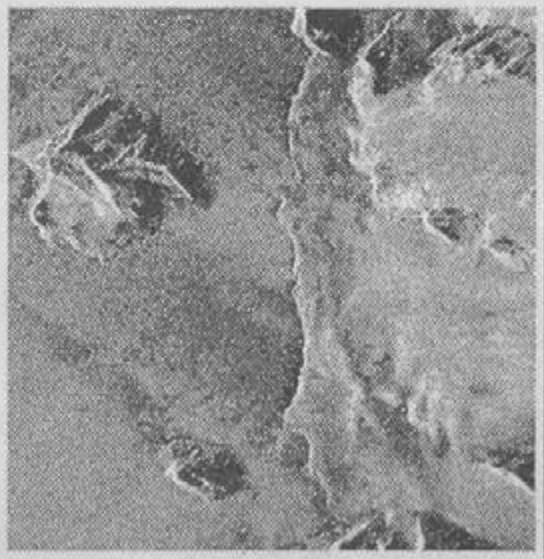
ERS-1-SAR-Aufnahme vom 06. Feb. 1992



ERS-1-SAR-Aufnahme vom 07. Feb. 1994



ERS-1-SAR-Aufnahme vom 03. März 1994



ERS-1-SAR-Aufnahme vom 15. März 1994

Ilustración Nº 4: Imágenes del sistema ERS-1 de Marguerite Bay, del 6 de Febrero de 1992, 7 de Febrero de 1994, 3 de Marzo de 1994 y del 15 de Marzo de 1994. Al oeste del farellón de hielo se encuentran las islas Millerand Island y Neny Island. Los dos ventisqueros McClary Glacier y Northeast Glacier, ubicados en la mitad derecha de las imágenes, demuestran una gran variabilidad en la retrodifusión de la señal de radar. Las causas para esta variabilidad son diferencias en el contenido de agua liquida en la capa de nieve y el gran número de horizontes de hielo en el manto de nieve.

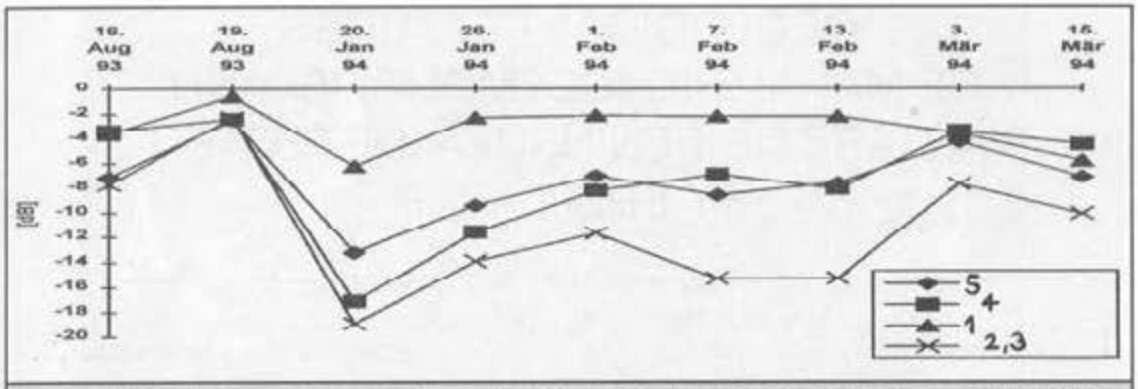


Ilustración Nº 6: Coeficientes de retrodifusión para los cuadrados Nº 1 - Nº 5, calculados de las imágenes del ERS-1, del 20 de Enero hasta el 15 de Marzo de 1994, además de las imágenes del 16 y 19 de Agosto de 1993. Entre los dos sobrevuelos, del 16 y 19 de Agosto, de 1993 se midió en la Base San Martín una temperatura de -27° C. Se supone entonces que durante estos 3 días no se produjeron cambios en la capa de nieve, así es que las diferencias de hasta 4 dB solamente se deben a los cambios en la exposición.

agua líquida. El descenso parcial de la retrodifusión entre el 3 y el 15 de Marzo se debe probablemente a un fuerte evento de "Föhn", que se puede comprobar por el hecho de que el nivel de 500 m en el McCiary Glacier también está afectado. El predominio del efecto atenuante del contenido de agua líquida sobre la retrodifusión se pudo comprobar por los resultados del siguiente experimento efectuado durante la campaña de terreno de 1994. En la prolongación de la línea de A6 hacia A1 se enterró completamente un reflector angular en la nieve; un segundo reflector ubicado en la prolongación de la línea D6 - D2 fue llenado enteramente con nieve. De estos dos reflectores angulares nunca se pudo captar una señal superior de retrodifusión Dentro de lo posible, los otros reflectores angulares (A1, A6, D2 y D6) se despejaron antes de cada sobrevuelo del hielo y de las acumulaciones de nieve causadas por el viento.

BIBLIOGRAFIA

BROMWICH, D. H. (1988): ***Snowfall in high southern latitudes.*** *- Reviews of Geophysics, Vol. 26, No 1, 149-168.*

BROMWICH, D. H. & C. R. STEARNS (1993): ***Antarctic Meteorology and Climatology: Studies based on Automatic Weather Stations.*** *- Antarctic Research Series, Vol. 61, American Geophysical Union, Washington, D. C.*

DREWRY, D. J. (1991): ***The response of the Antarctic ice sheet to climatic change.*** *- Antarctica and Global Climatic Change, 90-106.*

MORRIS, E. M. & D. G. VAUGHAN (1992): ***Snow surface temperatures in West Antarctica.*** *- Morris, E. M. (ed.): The contribution of Antarctic Peninsula Ice to Sea Level Rise. Report for Commission of the European Communities Project EPOC-CT90-0015, BAS, Ice & Climate Special Report. No. 1, 17-24.*

PEEL, D. A. (1992): ***Ice core evidence from the Antarctic Peninsula region.*** *- Bradley, R. S. & P. D. Jones (ed.): Climate since A. D.1500, 549-571.*

HEYNOLDS, J. M. (1981): ***The distribution of mean annual temperatures in the Antarctic Peninsula.*** *- BAS Bulletin, 54, 123-133.*

RUNDLE, A. S. (1969): ***Snow accumulation and ice movement on the Anvers Island ice cap, Antarctica. A study of mass balance.*** *- Proceedings International Symposium on Antarctic Glaciological Exploration, Dartmouth, 1968, 377-390.*

WUNDERLE, S., H. GOSSMANN & H. SAURER (1993): ***Snow-cover development as a component of the local geosystem on Potter Peninsula, King George Island, Antarctica.*** *Proceedings of the Second ERS-1 Symposium, Space at the service of our environment, 11-14 October 1993, Hamburg. ESA SP-361, Vol. 2, 987-991.*

GEOLOGICAL FEATURES OF MARAMBIO (SEYMOUR) ISLAND, ANTARCTIC PENINSULA, DETECTED BY ERS-1 / SAR

S. A. Marenssi[1,2], H. Rott[3] & P. Skvarca[1]

1. Instituto Antártico Argentino. Cerrito 1248, Buenos Aires (1010), Argentina.
2. Departamento de Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria, Pabellón II. Buenos Aires (1429), Argentina.
3. Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck. Innrain 52, Innsbruck A-6020, Austria.

Abstract

This paper presents the first results of using ERS-1 / SAR images to interpret geological and geomorphological features of Marambio Island. Images from two different look directions were compared revealing considerable differences in the appearance of structural features.

The northern part of the island is characterized for a flat-topped meseta surrounded by a highly irregular topography. The remainder two thirds present a more elaborated landscape with a rectangular fluvial pattern.

The sedimentary rocks exposed on the southern two thirds of the island form an almost N-S homocline dipping 7 to 10 degrees to the E. However on the southernmost area the strike of the beds change to NNE-SSW. This clear shift of the strike may be due to either a faulted block or an unconformity. None of them has been previously reported in the literature and more detailled field work is needed to solve this question.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

SAR IMAGE DATA BASE

ERS-1 / SAR images in precision (PRI) format from two different look directions, acquired from descending and ascending orbit, respectively, were obtained for the investigations. To facilitate the comparison with maps, the images were rotated so that north is at the top. Figures 1 and 2 show part of the SAR images, covering the region of Seymour Island and Cockburn Island.

Figure 1 is a color composite from images of two dates, 29 January 1992 and 8 March 1992. Red color indicates higher values of the backscattering coefficient σ^o on 29 January, blue higher values of σ^o on 8 March. Differences in σ^o are pronounced over the ocean. On 29 January σ^o was high all over the water surfaces surrounding the islands due to wind roughened sea. On 8 March a significant part of the water surfaces was covered with smooth newly formed sea ice showing low reflectivity. Some parts were also covered by older ice floes and open water , both surfaces types showing comparatively high σ^o similar to the wind roughened sea in the January image.

On the land surface σ^o was almost the same on 29 January and on 8 March 1992, with exception of a few small areas. One of these areas is the muddy region of Cross Valley, where σ^o decreased from -8dB to -11dβ between 29 January and 8 March. This can be explained by freezing of the top layer of the wet soil with rough surfaces. Whereas mean temperatures of the days before 29 January was slightly above zero, the temperatures in March were few degrees below zero. The average σ^o at the meseta was -9 dB at both dates, a value corresponding to backscattering from comparatively rough surfaces. σ^o of the runaway, which is made up by soil with slightly smoother surface, was -11 dB.

In the winter image the σ^o values on the island are on the average of a few dβ lower than in the two other images. This is in agreement with backscattering measurements over bare soil with rough surfaces in winter showing clear decrease of σ^o due to freezing (Wegmüller, 1990). On the meseta average σ^o values on 16 July were about 2 dB lower than in summer, σ^o of the runway decreased by almost 5 dB. The σ^o changes in other parts of the island were of similar magnitude.

Differences in the appearance of structural geological features between figures 1 and 2 are striking. This is caused by the different illumination direction of the radar beam, which is more favorable in figure 1 for detecting structural features on Seymour Island than in figure 2. The different look directions are clearly evident on Cockburn Island, which has a comparatively regular shape with an approximately circular flat-topped meseta at an altitude of 450 m above sea level and steep slopes descending from the meseta to the coastline. In figure 1 the azimuth direction of the illuminating beam and the direction of the main

Figure 1. Color composite of ERS-1/SAR/PRI images 2825/4923, 29 January 1992, (red) and 3374/4923, 8 March 1992, (blue), descending orbits, with Seymour Island (CL-Cape Lamas, CW-Cape Wiman), Cockburn Island (CI) and the northern tip of Snow Hill Island (SH). The arrow (L) indicates the illumination direction of the radar beam. Copyright ESA 1992.

geological lineaments on Seymour Island enclose angles between 45° and 90° wich favorably enhance the lineaments. In figure 2 some of the main features, such as the basaltic dikes, are oriented almost parallel to the incident radar beam and for this reason are hardly visible. This comparison emphasizes the importance of radar imaging geometry for studies of structural geology.

GEOLOGICAL SETTING

Geologically Seymour Island comprises a thick sedimentary sequence (approximately 2300 m thick) ranging from Maastrichtian to Upper Eocene or possibly lowermost Oligocene. They are cut by Pliocene basaltic dikes and covered by Quaternary glaciomarine deposits.

Maastrichtinan to Danian sedimentary rocks crop out mainly in the southern two-thirds of the island, south of Cross Valey, and correspond to the López de Bertodano and Sobral Formations (Rinaldi et al, 1978) (Fig. 3). They form an almost NNE-SSW homocline dipping 8°-10° to the ESE and are cut by NE-SW trending basaltic dikes belonging to the James Ross Island Volcanic Group (Rinaldi et al., 1978).

Paleogene sedimentites crops out in the northern third of the island, north of Cross Valley and around a central flat-topped meseta. The sediments mainly belong to the Eocene La Meseta Formation (Elliot & Trautman, 1982) and ocassionally to the late Paleocene Cross Valley Formation (Elliot & Trautman, 1982) (Fig. 3).

The flat-topped meseta is capped by thin glaciomarine deposit of uncertain age (Weddellian Formation of Zinsmeister & de Vries, 1982) (Fig. 3).

Physiographically, Seymour Island can be subdivided into three main areas:

1) The northern third presents a hihghly irregular topography elaborated upon Paleogene sedimentites. Its central part is dominated by an almost flat-topped meseta approximately 205 m high formed above of Neogene glaciomarine rocks,
2) A NW-SE trending valley (Cross Valley) separating the northern irregular area from the southern one, with a

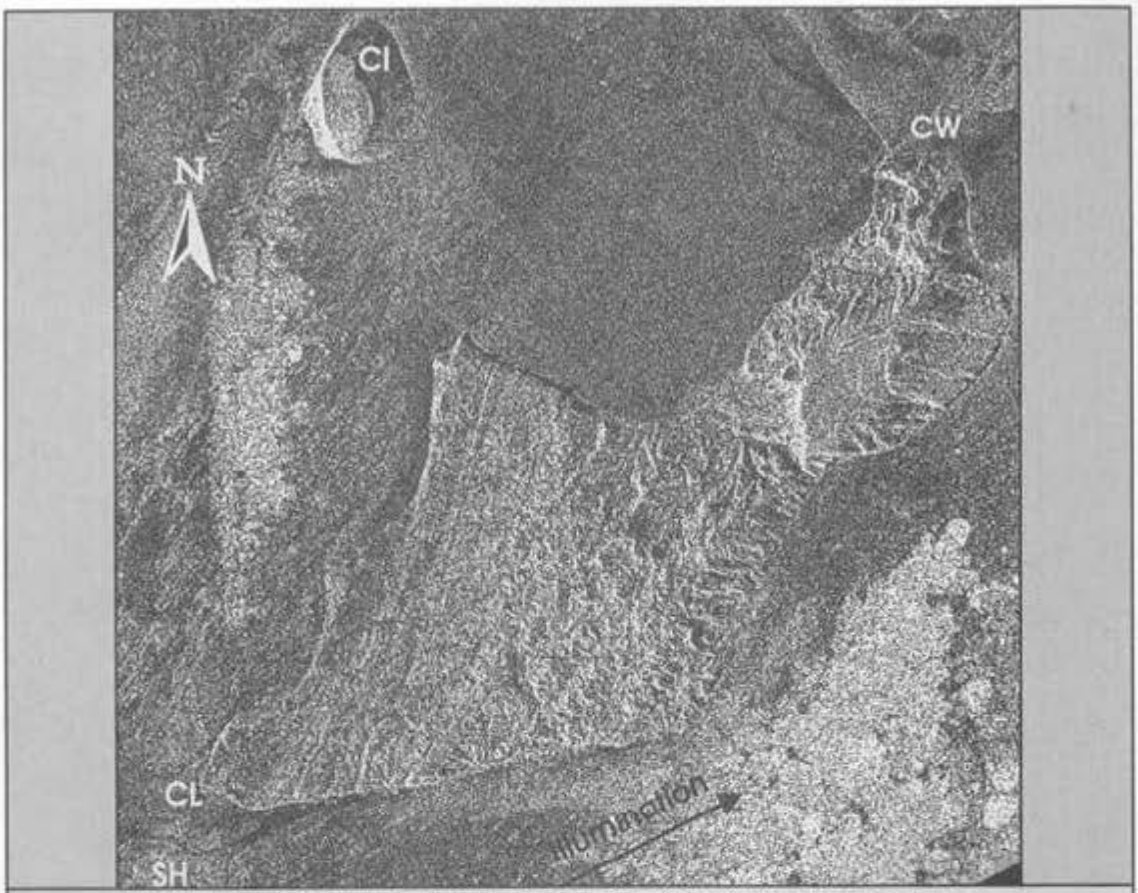


Figure 2. Part of ERS-1/SAR/PRI image 5230/5859, 16 July 1992, ascending orbit. The same region is shown as in figure 1. Copyright ESA 1992.

badland topography developed on soft sediments of the Cross Valley and La Meseta formations, and

3) The southern two-thirds wich present a relatively low, more regular relief with a cuesta-like topography developed on Cretaceous and Paleocene sedimentites of the López de Bertodano and Sobral formations. The cuesta-like topography disappears toward the East along the coast of the Weddell Sea where the relief is more complex and the sedimentites more homogeneous and consolidated.

DISCUSSION

On the radar image the most significant feature of the northern third of the island is the arcuate flat-topped meseta on which the Marambio runaway is clearly seen. The southern limit of this highly irregular area is the NE-SW low relief Cross Valley that widens toward the West.

On the other hand, the southern part of Seymour Island shows a more complex pattern. The landscape is controled by the bedding and the drainage system. (Rinaldi et. al., 1978) proposed that the cuesta-like topography, with the steeper slopes toward the NW and the gentle ones to the SW, is only produced by the homocline attitude and the alternation of concretionary, more indurated, and friable, less resistant, beds. However the orientation of the cuestas is seen to form a 40° to 45° angle with the bedding attitude, a clear indication of an additional control upon the topography. Additionally, the drainage system was described as dendritic (Rinaldi et al., 1978; Macellari, 1984) but it is clearly rectangular up to the third order tributaries and dendritic only in the heads (Fig. 5a). The first order tributaries, like the "Quebrada Larga", and some of the third order ones are aligned along the strike (almost N-S) and they are controlled by differences in competence of the beds. The second order tributaries, specially those ending into the "Quebrada Larga", are paralel to the dikes (Filo Negro) suggesting that the structural control for both, the cutting of the valleys and the dike intrusion is a fracture system of WSW-ENE orientation.

Last but not least, the ERS-1 / SAR image shows a very striking structural feature in the beds cropping out on the southernmost part of Seymour Island (Cape Lamb).

The Upper Cretaceous sequence of Seymour Island had always been considered a conformable continuation of the beds cropping out on Snow Hill Island. However a carefull analysis of the radar image shows that the lowermost beds, exposed on the southeastern end of Seymour Island (Cape Lamb) form an angle of 10 to 15 degrees with the rest of the cretaceous beds (Fig. 1). Attitudes measured in the field have shown that most of the cretaceous sequence has an almost N-S strike

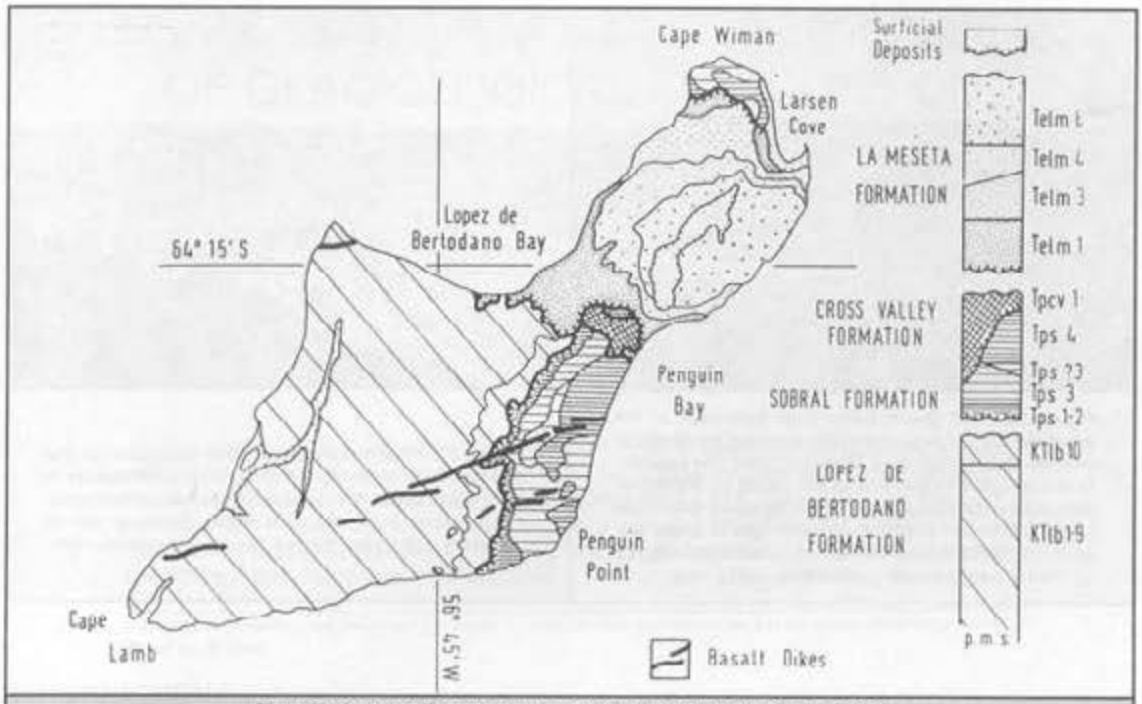


Figure 3. Geologic map of Seymour Island (modified after Sadler, 1988).

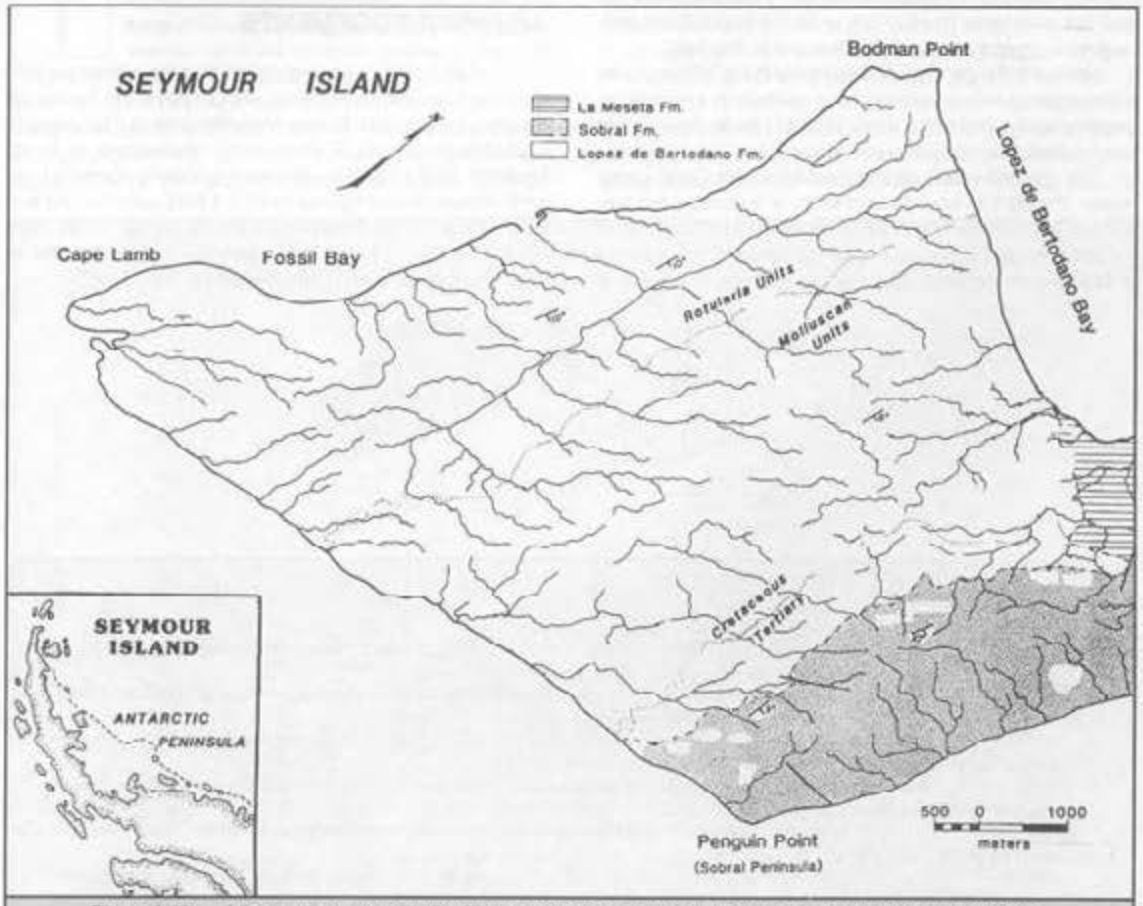


Figure 4. Map of the southern two-thirds of Seymour Island showing bedding attitudes and drainage system.

Figure 5a. Photograph taken from helicopter of the southern third of Seymour Island showing the drainage pattern. Photo taken from North to South. The seacliffs in the foreground belogns to the López de Bertidano Bay. Snow Hill Island is in the background. Quebrada Larga is the large stream from lower right to upper left. Note the rectilinear pattern of the streams joining the Quebrada Larga. Photo of Marenssi, 1995.

Figure 5b. Photograph taken from helicopter of the southern third of Seymour Island showing the change in bedding attitude in the southernmost area of the island. Photo taken from South to North. Seymour Island meseta is in the background. Photo of Marenssi, 1995.

(Az. 8° dipping 8°-10° E) but in Cape Lamas it changes into Az. 24° (dipping 7° to the SE) (Fig. 5b). Unfortunatelly, the friable character of the sedimentites and the extensive muddy cover of the floodplains prevented a careful study of this feature in the field.

Neither in the geologic literature nor in the field appears sedimentological evidence of an unconformity at this stratigraphic level., and large scale faulted blocks have never been reported to disturb such sequence.

The dissimilar attitudes observed on the Cape Lamb region should be regarded either as a tectonic phenomenon or to the presence of large channels at the bottom of the cretaceous sequence cropping out on Seymour Island or both. More detailed field work is needed to solve this interesting geologic problem that has arisen from the study of the SAR image.

ACKNOWLEDGEMENTS

Instituto Antártico Argentino provided the logistic support in Antarctica. One of us (SAM) wish to thank the helicopter crew for photographic fly over Marambio Island. This paper is a contribution to IGCP Project 301 "Paleogene of South America". ERS-1 / SAR images were gratefully obtained from the European Space Agency for ERS-1 AO Experiment A2 and for the ERS-1/SPOT Workshop in Punta Arenas, Chile, April 1993. The work of the Austrian scientist is a contribution to Austrian Science Fund (FWF) Project Nr. 10709-GEO.

REFERENCES

ELLIOT D. H. & T. A. TRAUTMAN, 1982. **Lower Tertiary strata on Seymour Island, Antarctic Peninsula.** p. 287-297. In C. Craddock (ed.): Antarctic Geoscience. University of Wisconsin Press, Madison.

MACELLARI, C. E., 1984. **Late Cretaceous stratigraphy, sedimentology, and macropaleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula.** Ph. D. Dissertation, The Ohio State University, 599 pp. Inedito.

RINALDI C. A., MASSABIE A., MORELLI, J., ROSENMAN L. H. y R. A. DEL VALLE, 1978. **Geología de la isla Vicecomodoro Marambio, Antártida.** Contribución Instituto Antártico Argentino, 217: 1-37.

SADLER, P., 1988. **Geometry and stratification of uppermost Cretaceous and Paleogene units on Seymour Island, northern Antarctic Peninsula.** In R. M. Feldman y M. O. Woodburne (eds.), Geological Society of America, Memoir 169, 303-320.

WEGMÜLLER, U., 1990. **The effect of freezing and thawing on the microwave signatures of bare soil.** Remote Sensing of Environment 33: 121-135.

ZINSMEISTER, W. & T. DE VRIES, 1982. **Observations on the stratigraphy of the Lower Tertiary Seymour Island Group, Seymour Island, Antarctic Peninsula.** Antarctic Journal of the United States, 17: 71-72.

ERS - 1 / SAR DATA FOR THE ANALYSIS OF GLACIOLOGICAL FEATURES ON FILCHNER-RONNE-SCHELFEIS, ANTARCTICA

Monika Jonas

Institut für Angewandte Geodäsie
Richard-Strauss-Allee 11
D-60598 Frankfurt am Main

Abstract

The analysis of remote sensing images on Filchner-Ronne-Schelfeis provides considerable contributions to the understanding of glaciological features and their local and temporal variations. The ice front of 1992/93 derived from ERS-1 / SAR frames and the changes in relation to the ice front interpreted from optical images of 1987/88 are described. Characteristic surface features in the vicinity of the grounding line of Berkner Island were related to the different flow conditions west and east of the northern summit (Reinwarthhöhe).

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

INTRODUCTION

The Filchner-Ronne-Schelfeis - one of the two large Antarctic ice shelves - represents a decisive barrier of the ice sheet discharge from the continent. In addition, it is coupled to the ocean circulation in the Weddell Sea. Main parts of its hinterland are from West Antarctica, but also parts of East Antarctica are discharging into this ice shelf. The catchment area covers about 20% of the whole Antarctic ice sheet. Filchner-Ronne-Schelfeis is nourished from ice streams like Foundation Ice Stream, Möllereisstrom, Institute Ice Stream, or Rutford Ice Stream. Further downstream the contribution of snow accumulation and basal freezing determine the mass balance. The schematic threedimensional diagram (Figure 1) demonstratesthe conditions for the Filchner-Ronne-Schelfeis. Interchanges at the boundaries of the cryosphere to the atmosphere, lithosphere, and hydrosphere cause the origin of glaciological surface features. Most of them could be detected with remote sensing

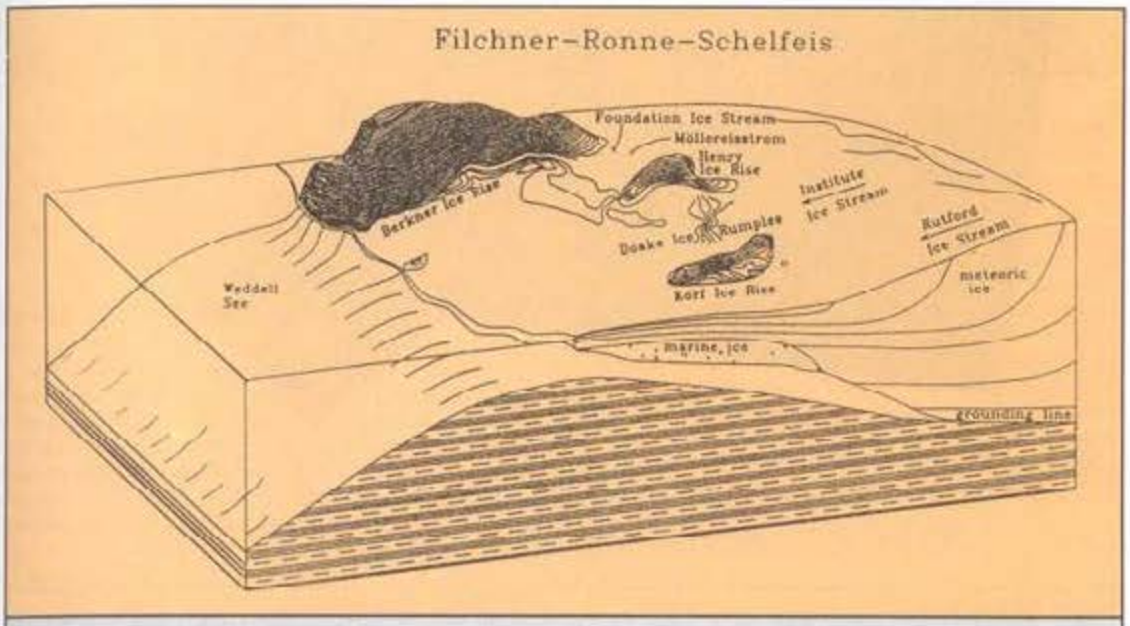


Fig. 1: Threedimensional overview of the flow and dynamic conditions of Filchner-Ronne-Schelfeis, nourished from ice streams like Foundation Ice Stream, Möllereisstrom, Institute Ice Stream, or Rutford Ice Stream. Meteoric ice is formed by snow accumulation, marine ice by basal freezing.

methods. Processes at the ice front and at the grounding lines could be monitored and analysed by the interpretation of multisensoral remote sensing imagery.

Optical imagery is limited by seasonal and weather effects, so that the active radar imagery from ERS-1 / SAR is gaining increased importance in the polar regions. After the insights into the special characteristics of radar imagery at Hemmen Ice Rise in comparison to optical imagery (Sievers et al. 1993), we will enlarge the areas investigated by ERS-1 / SAR coupled to optical image databases and interpretation results. The course of the ice front and the grounding lines determine the boundary conditions for dynamic models. The ice front of 1992/93 derived from ERS-1 / SAR images is presented and compared with the

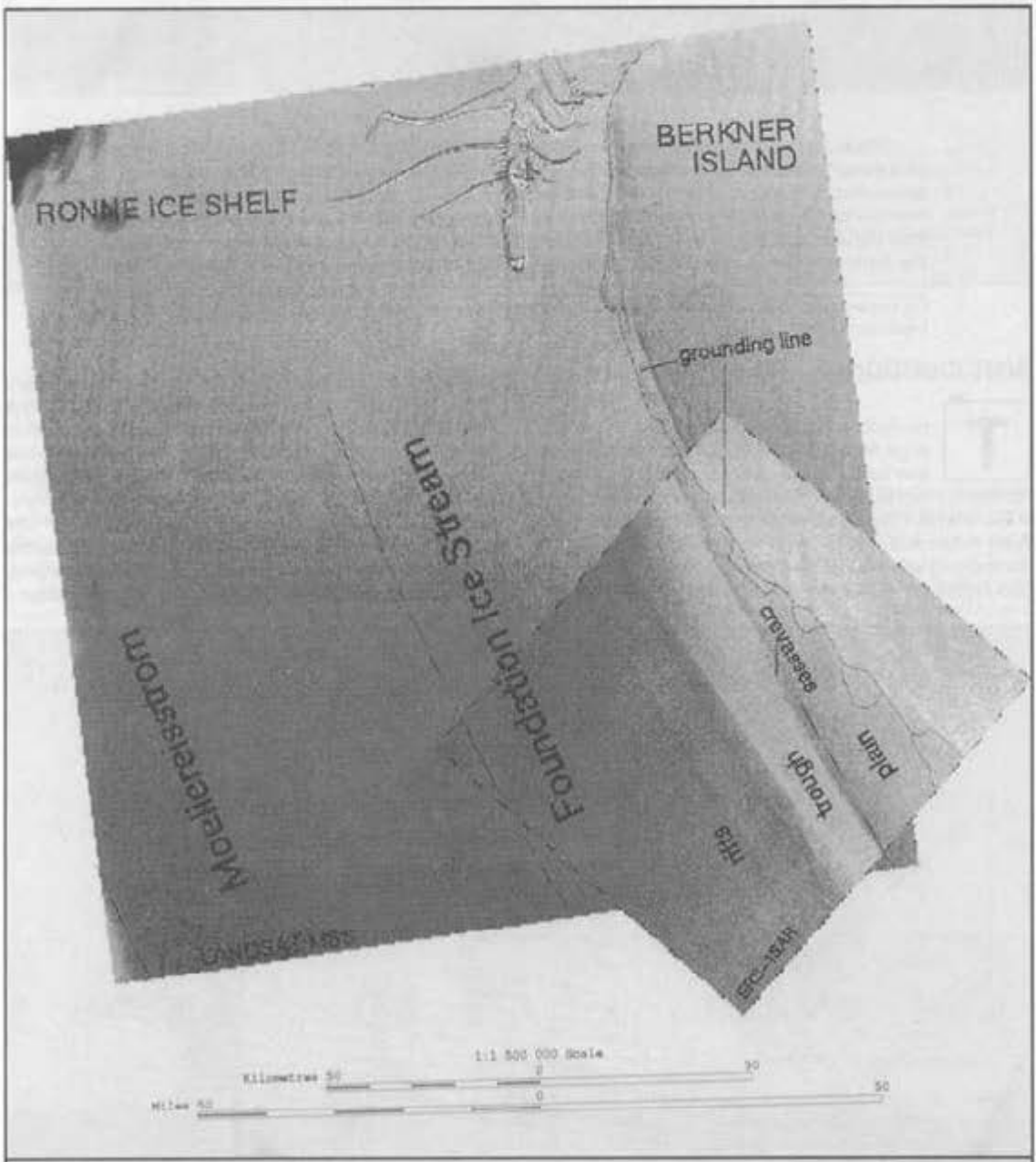


Fig. 3: ERS-1 / SAR frame orbit 13206 frame 5409 processed with antispeckle filters, and piece by piece linear stretching enhancement, resampled to LCC projection and overlayed to a LANDSAT MSS image. The location of the margin between the plain downstream Berkner Island and the trough is shifted from optical (black line) to the radar image.

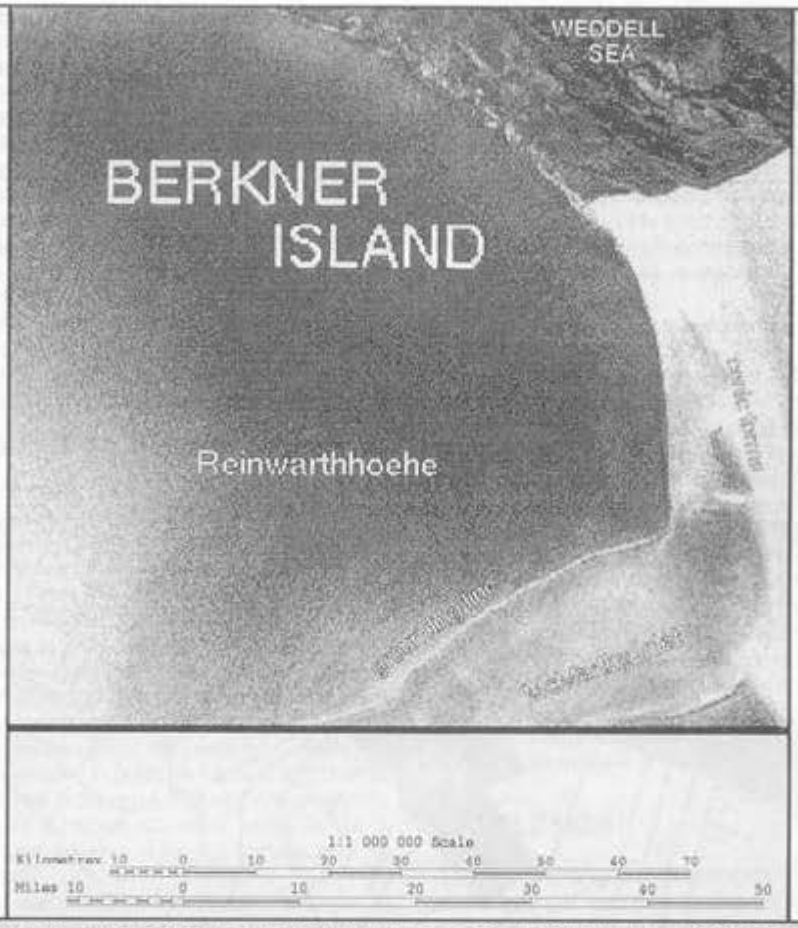


Fig. 4: Example of an antispeckle filtered ERS-1 / SAR image from McCarthy Inlet orbit 5389 frame 5463. The grounding line is highly illuminated. A 10 km wide glacier is discharging into the Filchner-Schelfeis. Surface undulations mark the transition in flow direction. Further downstream the glacier ice is compressed by the Filchner-Schelfeis to conic forms.

ice front detected from optical images of 1986/87 (Swithinbank et al. 1988). As examples for the investigation at the grounding line some special ERS-1 / SAR features east and west of Berkner Island are compared with optical investigations to clarify dependences of the ice shelves in the surrounding of ice rises like Berkner Island.

IMAGE PROCESSING AND MANAGEMENT

The radar images are determined by the backscattering depending on dielectric and morphologic properties of the surface. The visualisation of features in ERS-1 / SAR image data is not only connected to the image content but also to the processing. The speckle effects are no noise, physically, but can be treated as multiplicative noise (Bamler & Schöttler, 1993). Substantially, median filter, gauss filter, and Lee-filter were applied presuming the scales of the surface features to be larger than the mask sizes.

Collection and visualization of glaciological features (Bennat and Sievers 1992) and their changes are managed in the Geoscientific Informationsytem, Antarctica (GIA). The imagery basis of Filchner-Ronne-Schelfeis for the thematic mapping is a set of LANDSAT MSS-scenes with pixel sizes of 240 m. The ERS-1 / SAR, GEC (Ellipsoid Geocoded Image) products are delivered in UTM (Universal Transverse Mercator) projections zones. That means that the Filchner-Ronne-Schelfeis area is covered with 12 georeferencing zones. According to the GIA convention (Sievers and Bennat 1989), the LANDSAT images are stored in 3 LCC (Lambert Conform Conical) projection zones with a resolution of 60 m and the map bases with pixel sizes of 240 m in a PS (Polarstereographic Projection). The transformations from UTM to LCC and PS were done by cubic spline interpolation. The processing was carried out with the image processing software EASI/PACE which provides the interfaces for the exchange of image and vector data and the routines for preprocessing, enhancements, filtering, and geometric corrections.

MONITORING THE ICE FRONT

An overview of the single ERS-1 / SAR image contents is given with coarse georeferenced quicklooks, produced from the ERS-1 / SAR, GEC products, with reductions from 12.5 m to 200 m pixel size and 8-bit resolution. To show the location of the investigated ERS-1 frames, they are imaged

(Figure 2) together with selected vectors of the Filchner-Ronne-Schelfeis database. The ice front from 1992/93 is lined out in white. About 80 km west of the German Filchner Station an ice shelf tongue of about 150 km² calved. The movement related to the previous ice front (black lines) can be measured in relation to the reference systems. Good coincidences with the courses of 1987/88 are reached for the locations of ice cliffs - the boundaries of the grounded ice to the open ocean. In particular for Coats Land, Berkner Island and the Orwille Coast no changes can be perceived, so that possible deviation due to orbit parameters used for the geocoding could be neglected for the scales of the map.

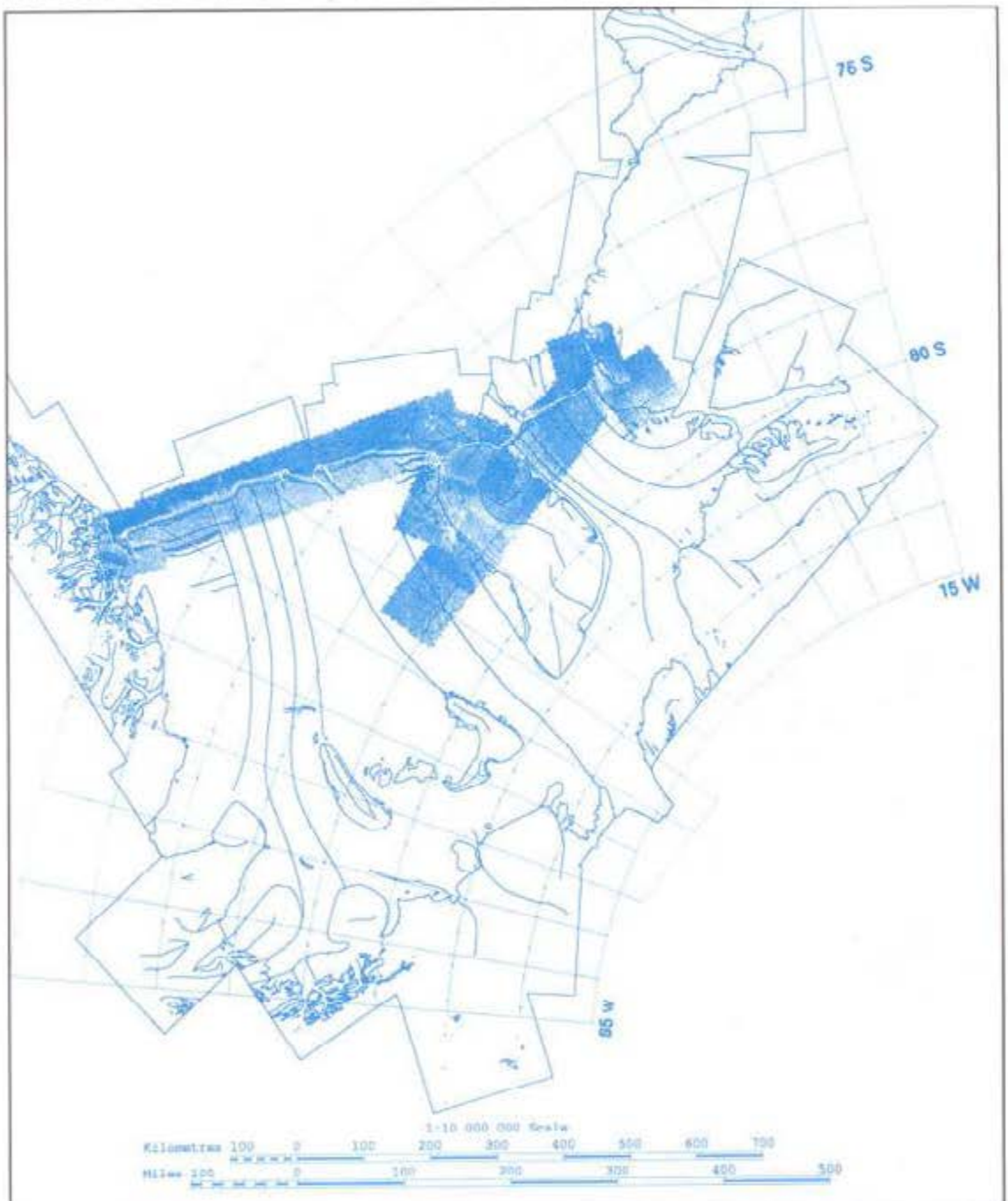


Fig. 2: Mosaic of ERS-1 / SAR products with the ice front 1987/88 (black) and the ice front 1992/93 (white) and the investigated frames downstream the northern summit of Berkner Island. The southern boundary of ERS-1 / SAR images is at about 79.25° S. The database of surface features was interpreted from LANDSAT images (Sievers and Heidrich 1991).

The velocities are estimated at 1500 m/a in the central part decreasing to 750 m/a near Hemmen Ice Rise. Even with the restricted image resolution the ice front is clearly recognizable. This is the cause why the proportion of radar energy reflected by a material and penetrating into it is controlled by the materials dielectric constant. The lower the dielectric constant the more energy is absorbed. At a wavelength of 5 cm values of the dielectric constant are 2-3 for firn stand againts values of 60 for water. Together with the angles of incidence the differences in reflectivity cause specular effects over the open ees. The higher values on the ice shelf are determined by the backscattering from the surface roughness. The main part of the Ronne Ice Shelf ice front is detected from ascending frames of orbit 8323 follows from which that the incidence angle is nearly perpendicular, optimizing the recognition of the ice front.

GROUNDING LINE FEATURES

Berkner Island as the largest ice rise in the world could be expected to provide reasonable contributions to mass balance and dynamics of the surrounded ice shelf areas. With ERS-1 / SAR these influences can be investigated for the northern part. From the northern summit of Berkner Island, the Reinwarthhöhe, the surface elevation is decreasing westward to reach Ronne Ice Shelf with small gradients. The ERS-1 / SAR frame orbit 13206 frame 5409 is processed with antispeckle filters, and a piece by piece linear stretching enhancement. Resampling to LCC projection was applied and the optical interpretation (Sievers and Heidrich 1991) overlayed to facilitate the spatial coordination of single features. In the result (Figure 3) the grounding line appears as two illuminated parallels, probably due to the inclination characteristics of the ice surface and the angle of incidence.

The transition westwards to Foundation Ice Stream is characterized by a zone of increased backscattering due to crevassing or rifting and shearing (Bennat et al. 1993) partly covered by snow. This zone is not visible in the optical images but it can be spatially attached to a diffraction zone in Radio Echo Sounding (RES) (Thyssen et al. 1993). The disturbances, detected at RES a wavelength of 10 m within the ice shelf body can be followed up to the surface at a wavelength of 5.6 cm for the ERS-1 / SAR system.

The band of increased backscattering is also correlated to a trough in the recently developed elevation model (Wingham pers. comm.) derived from the ERS-1 altimetry. This correlation indicates that the margin of Foundation Ice Stream in the east is characterized by a transition zone to an ice the shelf plain, which is contributed by discharge from Berkner Island. Shear crevassing which is visible as highlighted, sharp bounded lines appears at the ice stream margin. That allows the conclusion that this plain between the grounding line and Foundation Ice Stream is bounded with this transition and mass balanced through bottom melting.

The situation of interaction between the discharge of Berkner Island and the shelf ice flow is different in the east. The outflow of the McCarthy Inlet, where a 10 km wide glacier is draining into the Filchner-Schelfeis, can be perceived in the optical as well as in the ERS-1 / SAR images. This glacier discharges the eastern part of Reinwarthhöhe, the northern summit of Berkner Island. An example of an antispeckle filtered ERS-1 / SAR image from McCarthy Inlet is given with orbit 5389 frame 5463 (Figure 4). The grounding line is highly illuminated in flow direction. The undulations downstream the glacier indicate the transition to the ice shelf. Further downstream the flow is strongly influenced by the dynamic of Filchner-Schelfeis, which compresses the ice stream to conic forms. These conic forms are spatially repeated. That might allow the conclusion that this compression happens periodically, depending on the outflow condition of the glacier draining into McCarthy Inlet and on the influence of the Filchner-Schelfeis.

CONCLUSION

Recent changes of glaciological features, for example at the ice front, could be monitored with ERS-1 / SAR, in case that the values of movements, depending on the time scale of monitoring are large against the errors of orbit parameters. With these results the existing most up-to date databases for modeling and mapping could be improved. The correlation of optical and radar imagery to other remote sensing methods like radar altimetry or radio echo sounding supports the image analysis and the understanding of the local dynamic processes.

REFERENCES

BAMLER R. and B. SCHÖLER: **SAR Acquisition and Image Formation,** Schreier G. (ed.): SAR Geocoding: Data and Systems, Wichmann, Karlsruhe, 1993.

BENNAT, H., and J. SIEVERS: **Remote Sensing and GIS Application in Antarctica.** - Workshop on Relationship of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Hannover 16.-18. September 1991, EARSeL Advances in Remote Sensing, Vol. 1, No. 3, p. 160-168, 1992.

BENNAT H., B. HEIDRICH, and J. SIEVERS: **Extraction of Antarctic topographic-glaciological features from ERS-1 / SAR data,** Proceedings Second ERS-1 Symposium, 141-145, ESA SP-361, January 1994.

SIEVERS, J. and BENNAT, H.: **Reference systems of maps and geographic information systems of Antarctica.** - Antarctic Science 1, p. 351-362, Oxford, 1989.

SIEVERS, J., H. BENNAT, B. HEIDRICH: **Topographic-glaciological features rendered in ERS-1 and optical image data.** SELPER Review, Vol. 9, p. 17-22, 1993.

SIEVERS, J. and B. HEIDRICH: **Digital Coastline of Filchner-Ronne-Schelfeis: Interpretation of high quality satellite imagery,** Miller, H., H. Oerter (eds.): Filchner-Ronne Ice Shelf Programme, 5, 4-7, 1991.

SWITHINBANK, C., K. BRUNK, and J. SIEVERS: **A Glaciological Map of Filchner-Ronne Ice Shelf, Antarctica,** Annals of Glaciology, 11, 150-155, 1988.

THYSSEN, F., A. BOMBOSCH and H. SANDHÄGER: **Elevation, ice thickness and structural maps of the central of FRIS,** Oerter, H. (ed.): Filchner-Ronne Ice Shelf Programme 6, 1993.

REDUCCION DEL SPECKLE EN LAS IMAGENES SAR DEL ERS-1 EN LA REGION ANTARTICA

L. A. Frulla, J. A. Milovich, D. A. Gagliardini

Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética (CAERCEM-CONICET)
Julián Alvarez 1218, (1414) Buenos Aires, Argentina
TE: 54 1 772-1471- FAX: 54 1 776-0410
e-mail: laura@caerce.edu.ar

Resumen

El ruido speckle es inherente a las imágenes del Radar de Apertura Sintética. Dado que la degradación de la imagen, debido a este tipo de ruido, produce incerteza en la clasificación de los elementos, se hace necesaria la aplicación de métodos de filtrado para reducirlo. Estos métodos requieren del ingreso de dos parámetros fundamentales: el tamaño de la ventana con la cual actuará el filtro y la desviación estándar del ruido. Por esta razón, en este trabajo, se realizó un estudio preliminar sobre la actuación del tamaño de la ventana y un aporte para la estimación de la desviación estándar del ruido mediante un método que emplea cuadrados mínimos aplicados sobre pequeñas regiones homogéneas. Para ello se consideró una metodología que permite evaluar estadísticamente la homogeneidad de dichas regiones. En particular fue analizada la diferencia en la aplicación del método sobre las imágenes originales de 16 bits convertidas a 8 bits. Se muestran los resultados para el filtro de Lee aplicado a una imagen correspondiente a la Antártica.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

1. INTRODUCCION

Cualquier imagen, ya sea obtenida mediante sensores operando en los canales ópticos o en microondas, no contiene la información real de la escena que fue observada. Es decir, siempre existe una diferencia entre la distribución de radiación sobre la superficie terrestre y la medida desde el espacio. En este sentido, los valores contienen una distorsión con respecto al campo de radiación real existente sobre la superficie terrestre en el momento de la observación. El conocimiento de la magnitud de la perturbación y la reducción de su intensidad forma parte de la etapa de preprocesamiento de los datos.

La ventaja de la reducción del efecto de esta perturbación contenida en las observaciones satelitarias consiste en que no sólo se aumenta la exactitud en la clasificación de los objetos que se hallan sobre la superficie monitoreada, sino que también es muy importante para el estudio de los cambios producidos en las características de la superficie terrestre. Sin embargo, el efecto de esta perturbación, así como también los métodos que se deben desarrollar para reducir su intensidad, dependen del rango de longitudes de onda en que opera el sensor.

En el caso de información obtenida con el ERS-1/SAR, la perturbación que contiene la imagen constituye el denominado ruido coherente o speckle cuyo efecto es el de enmascarar los detalles y patrones de interés presentes en la imagen (Ulaby et al, 1982; Curlander y McDonough, 1991). Las técnicas de reducción del speckle pueden ser clasificadas en dos categorías. Una, mediante el promedio de varias vistas de una misma área, lo que da lugar a las imágenes de múltiple-vista (multi-look). La segunda categoría corresponde a la aplicación de técnicas de suavizado mediante el uso de filtros que efectúan la convolución de una ventana con la imagen (Lee, 1981; Maatin, 1985; Kuan et al., 1987; Nathan y Curlander, 1987; Li, 1988; Mascarenhas et al, 1991). El presente estudio cae en la segunda categoría. Sin embargo, la mayoría de estas técnicas de filtrado tienden a reducir no sólo el speckle sino además la información de interés de la imagen. Ello sucede porque estas técnicas son aplicadas mediante métodos estadísticos muy generales, para los cuales sólo interesa el tamaño de la ventana, o bien mediante métodos que además consideran las características estadísticas del speckle, para lo cual es necesario conocer su desviación estándar. De la evaluación de estos dos parámetros (tamaño de la ventana y desviación estándar del ruido) depende de la bondad del filtro en la reducción del speckle. Dicha bondad se basa en obtener un producto final de ruido reducido, sin haber eliminado detalles importantes, ni aumentado patrones de origen artificial. Es decir, reducir el efecto del speckle sin comprometer la información de la imagen. El objetivo del presente trabajo es el de discutir el empleo de los filtros para distintos tamaños de ventanas y calcular la desviación estándar de ruido mediante el método de cuadrados mínimos aplicados sobre regiones homogéneas con base en lo desarrollado por (Li, 1981). Este estudio fue aplicado, en particular, sobre diferentes regiones antárticas observadas por el ERS-1/SAR. Además se analiza la aplicación del método sobre imágenes originales de 16 bits convertidas a 8 bits.

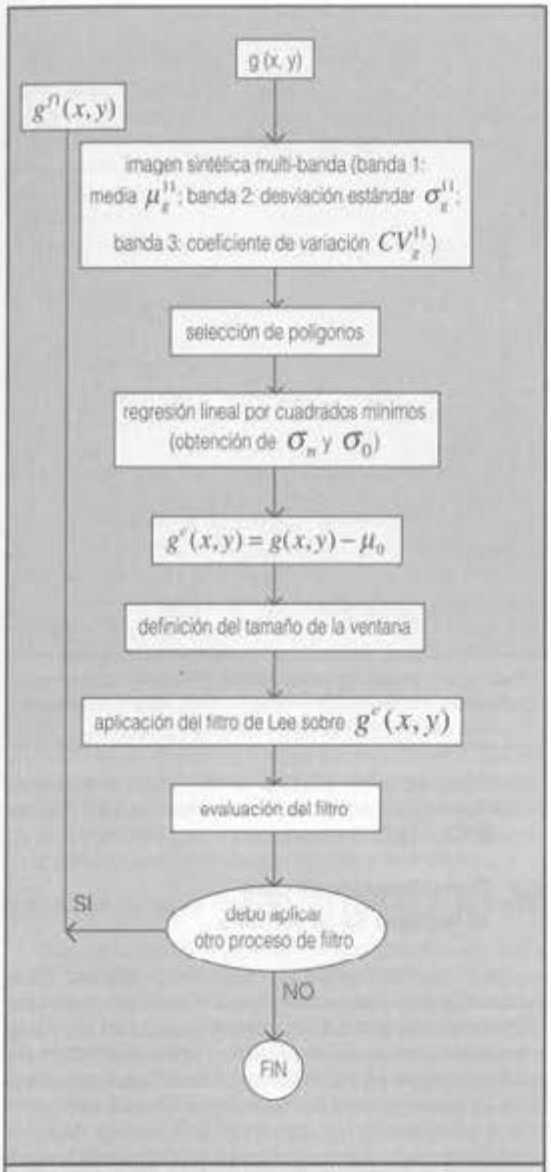


Figura 1. Esquema de aplicación del filtro de Lee.

2. FUNDAMENTOS DEL SPECKLE

Un detallado análisis de una imagen de radar muestra que aún en el caso de superficies muy homogéneas y sin rasgos salientes, es posible observar importantes variaciones en los tonos de gris entre pixeles adyacentes. Estas variaciones generan una textura granulosa que es característica de las imágenes de radar, están causadas por la radiación coherente que utilizan los sistemas de radar y es lo que se conoce con el nombre de speckle. Esto ocurre porque cada pixel, como consecuencia de su extensión sobre el terreno, puede ser considerado como si estuviera constituído por muchos centros dispersores cuyos retornos individuales pueden interferir de manera constructiva o destructiva. Esta interferencia se traduce visualmente en puntos más y menos brillantes en la imagen y por lo tanto, ésta adquiere ese aspecto tan característico.

De lo explicado es posible inferir que el speckle dificulta la discriminación visual y estadística de los patrones de interés presentes en la imagen, y la visualización de regiones homogéneas. Este ruido no es el simple resultado de la variación espacial de la reflectividad promedio de la superficie iluminada por el radar, por el contrario es un fenómeno muy complejo que depende de la textura que ofrece el terreno (entre otros parámetros). Por lo tanto, con base en el concepto de textura, en imágenes de radar, se pueden encontrar básicamente dos tipos de zonas:

1) **Zonas homogéneas:** la textura de la imagen está directamente relacionada con el speckle. Es decir, la región no posee textura propia y todo lo que se visualiza es ruido.
2) **Zonas heterogéneas:** la textura de la imagen no sólo está compuesta por speckle, sino que además posee características texturales propias del terreno. Para el desarrollo de este trabajo son de particular interés las zonas homogéneas, ya que, según fue mencionado, la textura que poseen es resultado del speckle y la información estadística puede ser utilizada en la estimación de la desviación estándar de dicho ruido.

3. REDUCCION DEL SPECKLE

La etapa de estimación y reducción del speckle corresponde al preprocesamiento de la imagen, y por lo tanto, es conveniente realizarla previo a cualquier otro análisis que se desee implementar. Esto no quiere decir que no sea posible trabajar con la imagen ruidosa. Un intérprete hábil, que conoce el terreno, puede reconocer los rasgos deseados y realizar su trabajo, siempre y cuando el objetivo del mismo sea la sola interpretación visual. Si además el intérprete quiere realizar algún tipo de procesamiento o clasificación, la reducción del speckle favorecerá la calidad de los resultados obtenidos.

2.1. Imágenes multi-look

Se demuestra que para imágenes de 1-vista (single-look) obtenida con un detector lineal la distribución de los valores sigue el comportamiento de una distribución Rayleigh y a medida que aumenta el número de vistas, el modo de distribución se desplaza hacia la media. En particular para un número de vistas mayor que 4 el comportamiento de la distribución es prácticamente gaussiano.

El speckle no es ruido blanco gaussiano y para las imágenes SAR ajusta bastante bien a un modelo de tipo multiplicativo en el cual el ruido, que no está correlacionado con la señal, tiene media 1 y desviación estándar constante (Li, 1981). A partir de la estadística es posible demostrar que la distribución de ruido speckle también es Rayleigh y para el caso de imágenes de 1-vista, la desviación estándar teórica es $\sigma_n = 0.52$ y decrece con el número de vistas N siguiendo la ley:

$$\sigma_n = \frac{0.52}{\sqrt{N}} \qquad (1)$$

en la tabla 1 se listan los valores teóricos de σ_n como función del número de vistas.

N	1	2	3	4
σ_n	0.52	0.37	0.30	0.26

Tabla 1. Valores teóricos de la desviación estándar de ruido como función del número de observaciones N.

2.2. Técnicas de filtrado

En esta sección se realiza una breve síntesis de algunos de los filtros que comúnmente se utilizan para la reducción del speckle. Entre los que requieren como parámetro de entrada solamente el tamaño de la ventana, se pueden mencionar:

- **Filtro de Media.** Es un filtro lineal mediante el cual se calcula el promedio de los valores de los pixeles para cada ventana y su efecto se traduce en un suavizado local de las observaciones.
- **Filtro de Mediana.** Es un filtro no lineal mediante el cual se calcula la mediana de los valores de los pixeles para cada ventana. Si bien éste es un proceso más lento que el anterior, actúa de manera similar logrando mejores resultados.

  Aquellos filtros que requieren además del conocimiento de la desviación estándar del ruido:
- **Filtro de Lee multiplicativo.** Se obtienen buenos resultados en la reducción del speckle para imágenes SAR. Este filtro pertenece a la familia de filtros no lineales y esta diseñado especialmente para eliminar ese tipo de ruido.
- **Filtro de Frost.** Es un filtro lineal y se deriva de la minimización del error cuadrático medio bajo un modelo de ruido multiplicativo. En este caso se incorpora la dependencia estadística con la señal original a través de la consideración de una función de correlación espacial exponencial.
- **Filtro Sigma.** Es un filtro de tipo semilineal y en este caso el pixel central de cada ventana se substituye por el promedio de aquellos pixeles que se encuentran dentro del rango de dos desviaciones estándar respecto del pixel central. A pesar que el filtro de Lee multiplicativo aún produce efectos difusos en los bordes, se comprobó que da muy buenos resultados en la reducción del speckle en imágenes SAR (Mastin, 1985; Li, 1981; Mascarenhas et al., 1991).

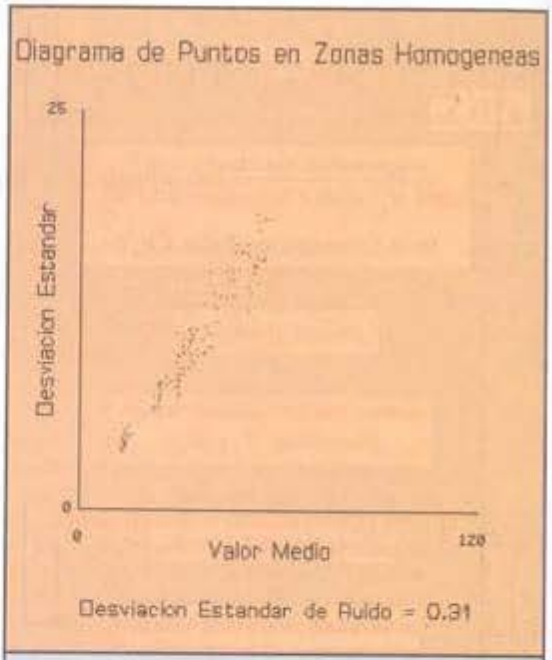


Figura 3. Ajuste de cuadrados mínimos sobre los polígonos homogéneos seleccionados sobre la imagen con corrección de origen.

2.3. Consideraciones para el tamaño de la ventana

Hay muchas formas de controlar el tamaño de la ventana, una de ellas es calculando la relación de proporción entre la varianza local de la señal original (sin ruido) y la varianza de la señal medida (o señal degradada por la presencia de ruido). Esta relación de proporción se la conoce con el nombre de razón de varianzas, varía entre 0 y 1 y se la calcula utilizando la hipótesis de ruido multiplicativo y las caracteristicas estadísticas del speckle

Parámetros Estadísticos	Imagen Original	Primera Imagen Filtrada Ventana: 3x3 σ_n:0.31	Segunda Imagen Filtrada Ventana: 3x3 σ_n:0.20
Mínimo	0	3	3
Máximo	210	210	210
Media (μ)	65	64	63
Desviación Estándar (σ)	55	51	50
Indice del Speckle ($\alpha = \frac{\sigma}{\mu}$)	0-8434	0.7997	0.7914
		0.0437	0.0083

Tabla 2. Valores estadísticos de las imágenes originales con corrección de origen y filtradas.

(Li, 1981). De esta manera, variaciones grandes en los valores de gris indican detalles finos en la imagen y muy posiblemente existencia de bordes. En estos casos la razón de variancia toma valores altos, por lo cual es mejor utilizar ventanas pequeñas (3 x 3) para lograr una mejor preservación del detalle. Por el contrario variaciones pequeñas en los valores de gris, indican regiones homogéneas, y en estos casos la razón de varianza toma valores bajos, por lo cual es mejor utilizar ventanas más grandes (5 x 5 ó 7 x 7) para lograr una mayor homogeneidad.

4. METODOLOGIA

4.1. Descripción del área de trabajo e imágenes analizadas

El presente trabajo fue realizado con imágenes ERS-1/SAR (productos PRI) correspondientes a diferentes regiones de la Antártida. Las imágenes de esta región son bastante complejas en cuanto al concepto de textura como consecuencia de la diversidad de tipos y estados de hielo que presentan las partes continental y marina.

El producto PRI (imagen de precisión) estándar de la ESA es una imagen obtenida a partir de datos del SAR procesados con 3-vistas no solapadas. Esta imagen está proyectada sobre el plano de la tierra y cubre una distancia de 100 km en la dirección perpendicular a la trayectoria del satélite y aproximadamente la misma cantidad en Azimut. El producto es de 16 bits remuestreado a un tamaño de pixel de 12.5 m en ambas direcciones. Sin embargo la resolución espacial es menor y queda determinada por los parámetros de procesamiento en rango y Azimut (nominalmente en rango mejor que 33 m y en azimut mejor que 30 m).

4.2. Cálculo de la desviación estándar de ruido

Para determinar la desviación estándar del speckle a partir de la imagen hace falta previamente identificar pequeñas regiones homogéneas en la misma. El realizar esta tarea de manera visual no es fácil y lo que es peor aún poco confiable, se construyó una imagen sintética multibanda de 3 parámetros estadísticos locales obtenidos a partir de la imagen original (o imagen degradada, g). Para ello la imagen original fue recorrida por ventanas de 11 x 11 en pasos de 5 pixeles, calculando para los pixeles interiores a la ventana en cada paso: media μ_g^{11} (almacenada en banda 1), desviación estándar σ_g^{11} (banda 2), y coeficiente de variación CV_g^{11} (banda 3). A partir de la imagen original y junto con esta nueva imagen sintética, es posible seleccionar pequeñas regiones con valores de media y desviación estándar altos y bajos, y simultáneamente exigir que se cumpla la condición de homogeneidad en la banda de coeficientes de variación.

La característica fundamental del ruido multiplicativo (modelo adoptado para la distribución del speckle) es que la desviación estándar de ruido es directamente proporcional a la media de la distribución. Se demuestra que esta característica conduce a identificar la constante de proporcionalidad con la desviación estándar de ruido (σ_n) dado que la media μ_n (Li, 1981). Por esta razón al conjunto de valores de media y desviación estándar correspondientes a cada uno de los polígonos elegidos como representativos de zonas homogéneas, se le aplicó un método de ajuste por cuadrados mínimos obteniendo una distribución de puntos que obedecen a la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sigma_n \cdot \mu + \sigma_0 \qquad (2)$$

donde σ_0 corresponde al valor que toma σ cuando μ = 0 y en general se observa que:

$\sigma_0 \sim 0$, para imágenes de 16 bits,

$\sigma_0 < 0$, para imágenes reescaladas a 8 bits.

Para poder aplicar eficazmente filtros como el de Lee a imágenes de 8 bits, debe tener validez el modelo de ruido, es decir se debe cumplir que:

$$\sigma = \sigma_n \cdot \mu \qquad (3)$$

Por lo tanto, a las imágenes reescaladas a 8 bits es necesario aplicarles un corrimiento en una cantidad calculada μ_0 según:

$$\sigma = 0 \Leftrightarrow \mu_0 = \frac{\sigma_0}{\sigma_n} \qquad (4)$$

Toda esta metodología está sintetizada en la Figura 1.

Por otra parte, la bondad del efecto del filtro fue evaluada mediante las siguientes dos maneras:

1) Calculando el índice de speckle de la imagen (determinado por el coeficiente de variación). Se espera que este disminuya como consecuencia del efecto del filtro.
2) Calculando la diferencia entre la imagen filtrada y original, lo cual permite visualizar más fácilmente la pérdida de resolución en los bordes.

También es importante considerar la aplicación de filtros en cascada. Si bien se logran mejores resultados estadísticos, hay que tener en cuenta que la aplicación sucesiva del filtro produce pérdidas sucesivas de resolución y detalle en la imagen. En teoría, una vez obtenida la primera imagen filtrada habría que recomenzar, según se indicó en la Figura 1, para finalmente obtener una segunda imagen filtrada, y el proceso terminaría cuando la diferencia entre dos índices de speckle fuera menor o del orden de un cierto umbral predeterminado. Pero es importante no dejar de lado el conocimiento de la intensidad de la pérdida de resolución en todo este proceso, razón por la cual se hace necesario establecer

Parámetros Estadísticos	Imagen Original -1ª Imagen Filtrada	1ª Imagen Filtrada - 2ª Filtrada
Mínimo	0	0
Máximo	78	33
Media (μ)	5	2
Desviación Estándar (σ)	9	3

Tabla 3. Valores estadísticos de las imágenes de diferencias.

Figura 2. Subimagen original de una región del sur de la Isla de Amberes convertida a 8 bits (polígonos representativos de zonas homogéneas en blanco).

un compromiso entre el punto en donde se detiene el proceso de filtro y la pérdida de resolución.

De la experiencia se observa que no es conveniente aplicar más de dos filtros sucesivos en la mayoría de los casos. Más aún, es mejor la aplicación del filtro una sola vez, razón por la cual es indispensable la buena estimación del tamaño de la ventana y la desviación estándar del ruido.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Lo descrito previamente fue aplicado a imágenes ERS-1/SAR tomadas sobre diferentes regiones de la Antártida. En particular se muestran algunos resultados obtenidos para la región sur de la Isla de Amberes, ubicada al Oeste de la Península Antártica. Esta imagen fue previamente convertida a 8 bits utilizando un procedimiento de reescalado lineal de 2 desviaciones estándar alrededor de la media. La ventaja de trabajar con este tipo de imágenes consiste en requerir un menor espacio de disco y reducir el tiempo de cálculo. En la Figura 2 se muestra una subimagen de la región mencionada en la que se indican los polígonos seleccionados para la extracción de zonas homogéneas en blanco. Esta imagen presenta zonas de rugosidad importantes y fue elegida para evaluar la pérdida de bordes como consecuencia de la aplicación del filtro.

En la Figura 3 se muestra el resultado del ajuste por cuadrados mínimos realizados sobre los puntos interiores al conjunto de polígonos tomados sobre la imagen con corrección de origen $g^{c}(x,y)$. Esta fue obtenida aplicando sobre la imagen original $g(x,y)$ un corrimiento de los datos del orden de 44 cuentas (valor redondeado de la absisa al origen) y se obtuvo una desviación estándar de ruido de 0,31. Se aplicó así el filtro de Lee multiplicativo presente en el paquete de programas de radar cedido por la ESA, y sobre la imagen filtrada se repitió el procedimiento, con el objeto de analizar la aplicación de filtros en cascada. En este último caso, en el ajuste por cuadrados mínimos realizado sobre el conjunto de polígonos tomados sobre la primera imagen filtrada, la recta pasa aproximadamente por el origen y la desviación estándar de ruido es de 0.20. En

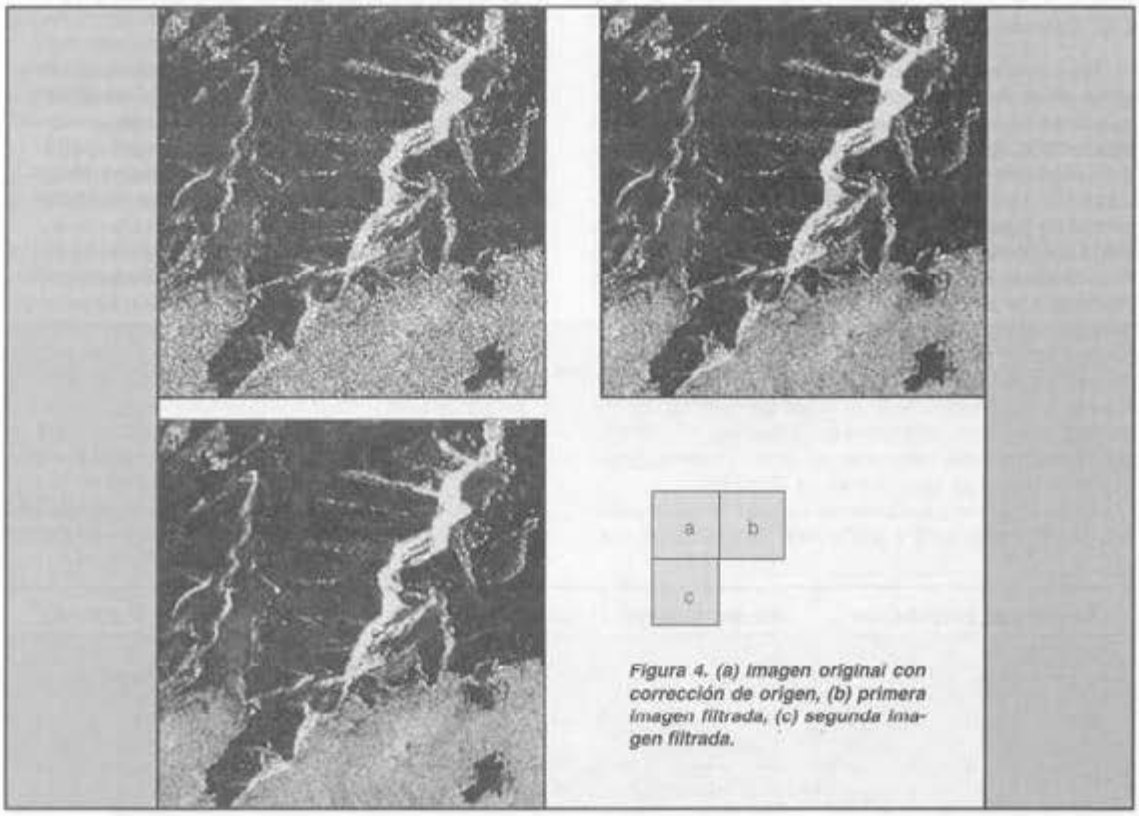


Figura 4. (a) Imagen original con corrección de origen, (b) primera imagen filtrada, (c) segunda imagen filtrada.

ambos casos (imagen con corrección de origen y primera imagen filtrada) se utilizó para el filtro una ventana de 3 x 3.

La Figura 4 muestra la imagen original con corrección de origen y las primera y segunda imágenes filtradas. Los resultados estadísticos correspondientes se hallan en la Tabla 2. En la Figura 5 se muestran las imágenes diferenciadas en las que se puede observar cómo los bordes importantes se van desdibujando, este efecto queda cuantificado en los valores estadísticos mostrados en la Tabla 3. Esto conduce a considerar que la primera imagen filtrada es suficiente para lograr un buen resultado en el filtro sin perder demasiado detalle en la imagen.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo consistió en la aplicación del filtro de Lee multiplicativo en imágenes ERS-1/SAR obtenidas sobre regiones de la Antártida. Dado que este filtro requiere el conocimiento de dos parámetros fundamentales tales como el tamaño de la ventana y la desviación estándar del ruido, se desarrolló un método para la estimación cuantitativa de ésta última y selección de diferentes regiones homogéneas. En particular, se analiza la posibilidad de la aplicación del método a la utilización de imágenes de 8 bits.

El modelo multiplicativo implica una proporcionalidad entre la desviación estándar y la media sobre áreas homogéneas. A pesar de que no hay áreas estrictamente homogéneas en las imágenes, la representación de la desviación estándar estimada como función de la media utilizando un conjunto de polígonos pequeños sobre las regiones más homogéneas disponibles en la imagen original, muestra que el modelo multiplicativo ajusta razonablemente bien al ruido speckle en la imagen. Para la imagen mostrada, el valor de la pendiente obtenida del ajuste de cuadrados mínimos (σ_n) es del orden de 0.3 y la ordenada al origen es distinta de cero por la conversión a 8 bits. Para las imágenes de 16 bits analizadas, la ordenada al origen resultó prácticamente cero. Este resultado ajusta bastante bien con el valor teórico mostrado en la Tabla 1 correspondiente a imágenes de 3 vistas. Los resultados de cuadrados mínimos sobre la primera imagen filtrada corresponden a valores de σ_n mucho menores debido a que esta imagen ya no puede considerarse como una imagen de 3-vistas.

7. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento por el apoyo recibido de CAERCEM y muy especialmente a la colaboración recibida de la Agencia Espacial Europea (ESA) por habernos provisto la información y el paquete de filtros utilizados para el desarrollo del trabajo.

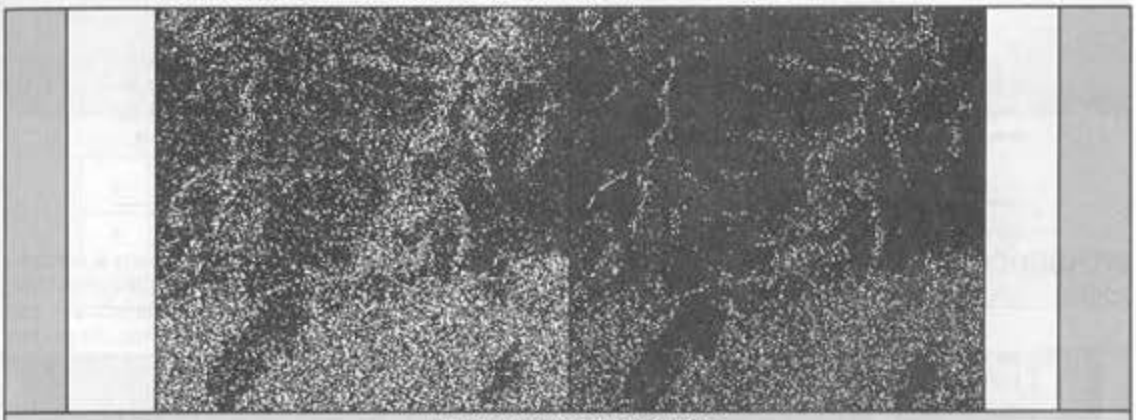


Figura 5. Imagen de diferencias.
a) imagen original - primera imagen filtrada *b) primera imagen filtrada - segunda imagen filtrada.*

REFERENCIAS

CURLANDER, J. C. y McDONOUGH, R. N. (1991): **Synthetic Aperture Radar. Systems and signal processing.** (John Wiley & Sons Inc., New York Vhichester, Brisbane, Toronto, Sigapore).

KUAN, D. T., SAWCHUCK, A. A., STRAND, T.C. y CHAVEL, P. (1987): **Adaptive restoration of images with speckle.** IEEE Trans. on Acust. Speech, and Signal Proc., Vol. ASSP, 35, Nº 3.

LEE, J-S (1981): **Speckle analysis and smoothing of Synthetic aperture radar images.** Computer Graphics and Image Processing Vol. 17, 24-32.

LI, Ch. (1988). **Two adaptive filters for speckle reduction in SAR images by using the variance ratio.** Int. J. of Remote Sensing, Vol. 9, Nº 4, 641-653.

MASCARENHAS, N. D. A., ONO, S. E., FERNANDES, D. y KUX H. J. H. (1991): **A comparative study of speckle reduction filters in SAR images and their application for classification performance improvement.** Presented at the 24th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Rio de Janeiro, Brazil.

MASTIN, G. A. (1985): **Adaptive filters for digital noise smoothing: An evaluation.** Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 31, 103-121.

NATHAN, K. S. y CURLANDER, J. C. (1987): **Speckle noise reduction of 1-look SAR imagery.** Proceedings of IGARSS'87 Symposium, Ann Arbor, USA.

ULABY, F., MOORE, R. K. y FUNG, A. K. (1982). **Microwave remote sensing. Active and passive.** Volumen II (Addison-Wesley Publishing Company, London, Amsterdam, Don Mills, Ontario, Sydney, Tokyo).

DETERMINACION DEL AMBIENTE PERIGLACIAL EN LA COSTA SUR DE LA ISLA REY JORGE, MEDIANTE COMPARACION ESTACIONAL DE IMAGENES ERS-1

Belisario Andrade J.
Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile
Avenida Vicuña Mackenna 4860 - Santiago, Chile.
Tel: (56.2) 552.2375, Fax: (56.2) 552.6005

Patricia Vicuña V.
Instituto Antártico Chileno, Ministerio de Relaciones Exteriores
Luis Thayer Ojeda 814 - Santiago, Chile.
Tel: (56.2) 232.2617, Fax: (56.2) 232.0440

Abstract

This paper summarizes the results of a study using multitemporal ERS-1 images from winter, spring and summer, to distinguish between periglacial and glacial environments on the South Coast of King George Island (South Shetland, Antarctica). A pattern of homogeneous environmental belts has been identified.

Resumen

Se exponen los resultados obtenidos en la discriminación entre ambientes periglaciales y glaciales en la Costa Sur de la Isla Rey Jorge (Shetland del Sur, Antártica), utilizando imágenes ERS-1 de los meses de Enero, Julio y Noviembre, apoyándose sobre patrones de interpretación obtenidos previamente a través del uso de una imagen estival de SPOT-1.

INTRODUCCION

Las costas de las zonas sub-antárticas, en particular, las de las islas Shetland del Sur están bajo el dominio de un ambiente morfogénico periglacial (Zhang, 1989). Esto determina la existencia de una zonación espacial conformada por una angosta faja en la que se desarrollan procesos relacionados con el fenómeno de hielo y deshielo, la que se encuentra respaldada por un área de carácter glacial.

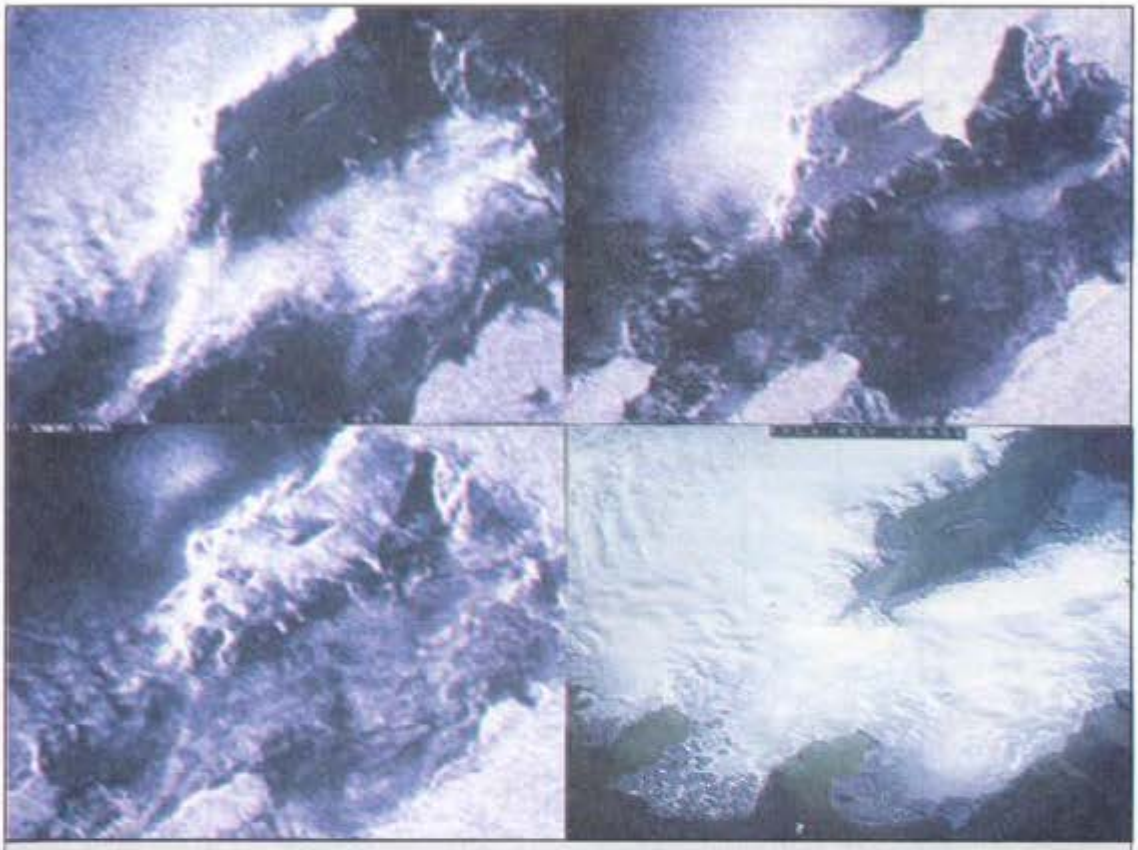
Este trabajo corresponde a la continuación de un estudio iniciado en Enero de 1993, cuya finalidad es la de determinar arealmente la extensión de los ambientes morfogénicos en la zona costera antártica (Andrade y Vicuña, 1993), mediante el análisis multitemporal de imágenes ERS-1 y SPOT-1. La primera parte del estudio se realizó utilizando una imagen SPOT-1 de verano. En la segunda fase, que se expone en esta comunicación, se han usado tres imágenes ERS-1, correspondientes a las estaciones de verano, invierno y primavera.

AREA DE ESTUDIO

El análisis se realizó en la costa sur (sector de Bahía Almirantazgo) de la Isla Rey Jorge, la cual pertenece al Archipiélago de las Shetland del Sur, ubicada al noroeste de la Península Antártica y aproximadamente a unos 1.000 km del Extremo Sur del Continente Sudamericano. Las coordenadas geográficas de la Isla Rey Jorge son aproximadamente 61° 50' S y 62° 15' S y 57° 30' W y 59° 00' W. (Fig.1)

La zona de estudio se caracteriza por presentar un clima clasificado como Polar Oceánico del Hemisferio Sur (ETI), caracterizándose por presentar un alto nivel de precipitación y humedad, temperaturas bajas suaves y veranos cortos. Las temperaturas oscilan entre 8° C como máxima y -30° C como mínima, siendo el promedio anual siempre inferior a 0° C (Niemiec y Rawa, 1989). Las precipitaciones son bastante frecuentes en el área, cayendo en forma de lluvia o de nieve, según las condiciones de temperatura durante el verano, y exclusivamente en forma nival el resto del año.

Desde un punto de vista morfoclimático, las condiciones descritas arriba hacen posible que el fenómeno de congelación-fusión del agua intersticial en las rocas se desarrolle casi durante todo el año. De acuerdo a lo descrito por (Hervé y Araya 1965), la humedad atmosférica es alta, con un mínimo siempre superior a 65%, alcanzando durante la mayor parte del tiempo el nivel de saturación, lo que hace de este modo que el efecto de crioclastismo sea intenso. De igual forma, las acciones morfogenéticas producto del viento son importantes en el área (Clapperton y Sugden, 1983).



2	3
4	5

Fig.2.- Imagen ERS-1 del 24 de Julio de 1992.
Fig.3.- Imagen ERS-1 del 25 de Noviembre de 1992.
Fig.4.- Imagen ERS-1 del 15 de Enero de 1993.
Fig.5.- Imagen SPOT-1 del 19 de Febrero de 1988 con realce de contraste por ecualización de histograma y realce de bordes.

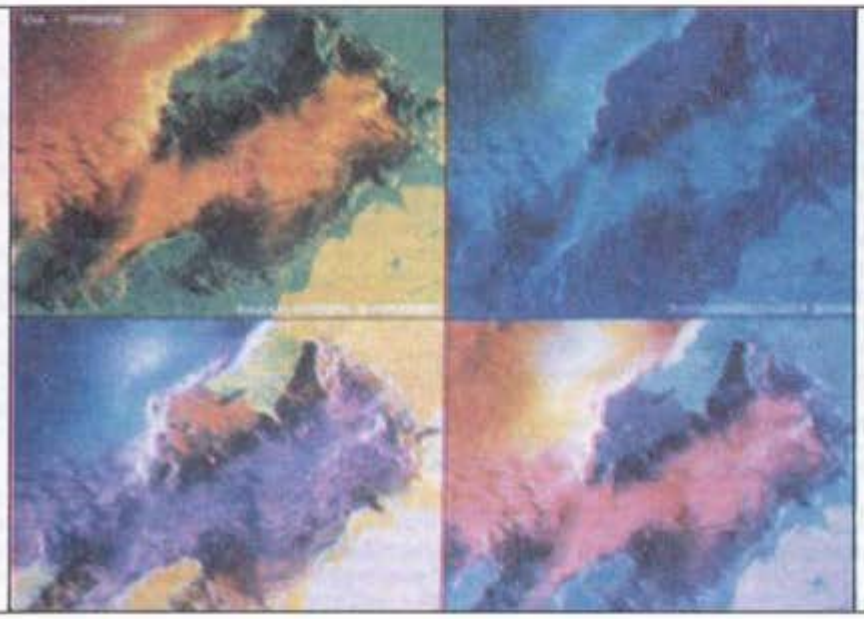


Fig.6.- Imagen multitemporal de ERS-1 para tres fechas con diferentes combinaciones de colores.

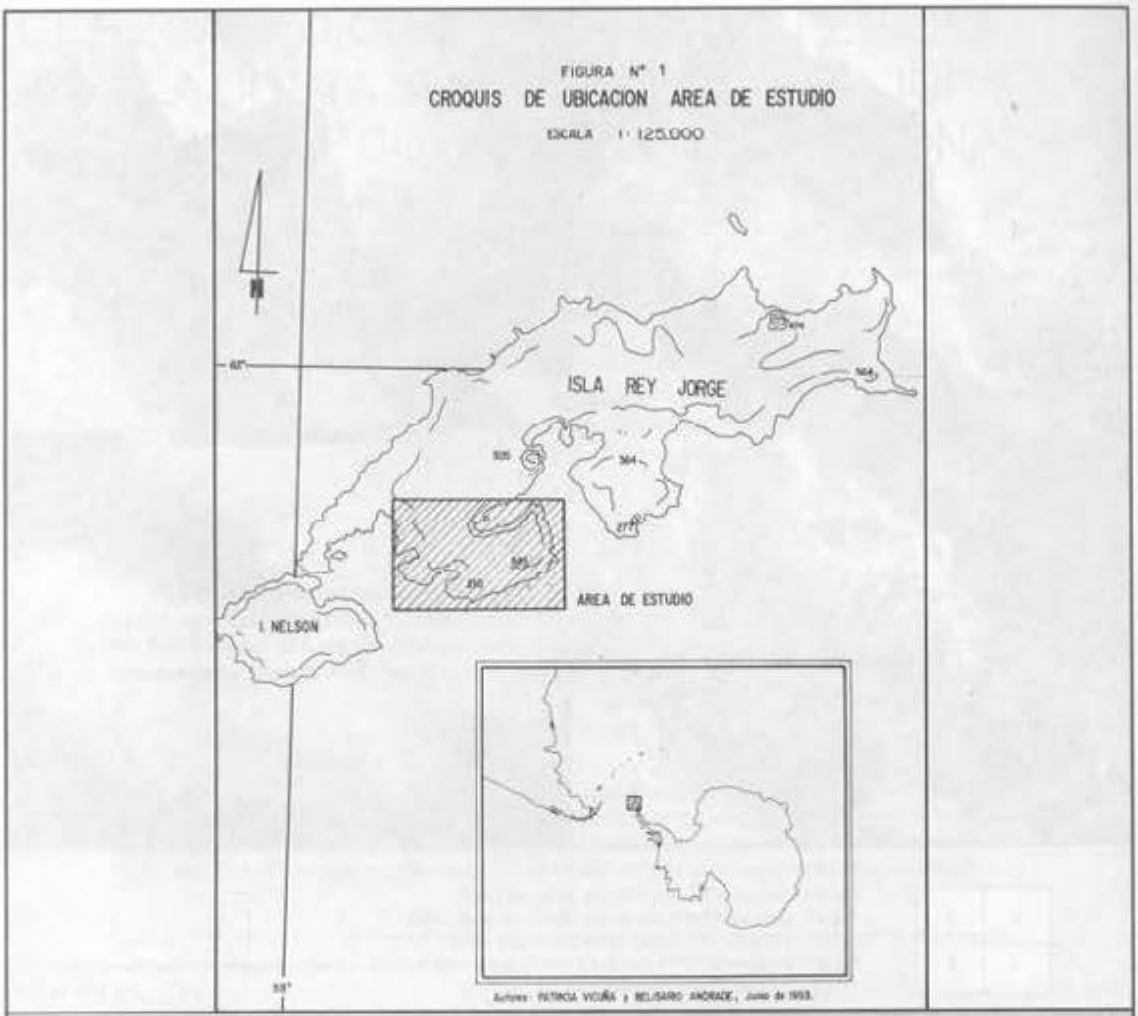


Fig.1.- Ubicación del área de estudio.

METODOLOGIA

Se han utilizado tres subescenas extraídas de imágenes ERS-1/SAR/PRI, recibidas en la Estación Satelital O'Higgins, de fechas 24 de Julio de 1992 (Fig. 2), 25 de Noviembre de 1992 (Fig. 3) y 15 de Enero de 1993 (Fig. 4), apoyándose en patrones de interpretación obtenidos de una imagen SPOT-1 (Fig. 5), de la órbita 725.478, del 19 de Febrero de 1988, multiespectral, en las bandas del IR cercano, rojo y verde.

Las imágenes han sido procesadas mediante el uso de ERDAS en la versión para computador PC 80386, en el Programa de Percepción Remota y SIG de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Para disminuir el peso de los archivos de trabajo, se redujo la información original de 16 bits a 8 bits. Posteriormente, se rotaron especularmente las subescenas, sobre su eje vertical.

Para fines de comparación, las escenas se corrigieron geométricamente de imagen a imagen. Luego se creó un archivo BIL con las tres fechas; canal 1= Enero, canal 2= Julio y canal 3= Noviembre.

Dentro de los tratamientos aplicados, se suavizaron los canales 1 y 2 con un filtro de 5 x 5 promedio

Las imágenes fueron desplegadas por fechas separadas y fueron sometidas, ya sea a un realce de contraste lineal o por ecualización de histograma, de acuerdo a las características particulares de cada imagen.

Se obtuvo una imagen multitemporal, la que fue desplegada en distintas combinaciones en falso color, con el fin de apreciar visualmente distintos aspectos (Fig. 6). Posteriormente se realizó una clasificación no supervisada con 20 clases, usando 2 fechas (Enero y Julio) y otra con 60 clases utilizando 3 fechas (Enero, Julio y Noviembre). La imagen clasificada en 60 categorías fue suavizada mediante el uso de un filtro de 5 x 5 del método de la mediana.

Ambos productos se recodificaron en 6 clases de acuerdo a patrones de interpretación previos, obtenidos mediante el análisis de la imagen SPOT-1, la cual fue sometida a un realce de contraste por ecualización de histograma y realce de bordes

RESULTADOS

Se ensayó la discriminación entre ambientes periglaciales y glaciales mediante la comparación de las imágenes ERS-1 de los meses de Julio y Enero, con el fin de precisar la distinta respuesta de las superficies cubiertas y descubiertas de nieve, suponiendo que la rugosidad superficial cambia estacionalmente, dependiendo ésta del tipo de cobertura de la superficie. Se supuso que las superficies rugosas deberían reflejar con mayor intensidad durante el verano, debido a que no están suavizadas por la cubierta nivosa, la que sí existe en invierno.

En este sentido se pudo apreciar que la reflexión de la zona periglacial, efectivamente se comportó como se esperaba, apareciendo ligeramente más clara en verano (Fig. 4) que en invierno (Fig. 2). Sin embargo, la zona glacial respondió de manera inversa, más oscura en verano que en invierno.

Esta aparente contradicción, puede explicarse mediante la inclusión de una variable no considerada previamente, la que se relaciona con la aparición de agua de fusión sobre el hielo durante el verano y la consiguiente modificación de la constante dieléctrica.

En efecto, la nieve seca permite la penetración de la onda de radar algunos metros, de manera que la rugosidad propia de las superficies glaciales en movimiento aparece dando valores de reflexión más altos que cuando se encuentran bajo el efecto de las aguas de fusión.

El análisis de la imagen de noviembre de 1992 (Fig. 3) permite distinguir muy claramente cuatro zonas bien delimitadas: la de glaciares altos con elevada reflexión, la de glaciares bajos con menor reflexión, el área de fusión glacial con un tono gris oscuro uniforme y el área periglacial con reflexión intermedia. Cabe señalar que en esta fecha el límite entre el sector de fusión y el ambiente periglacial aparece más claramente definido.

Buscando otros antecedentes que permitieran una mejor interpretación de lo observado en las imágenes por fechas separadas, se realizó una composición multitemporal con las dos fechas extremas, invierno-verano; esta fue sometida a una clasificación no supervisada con 20 clases, con el fin de establecer tipos de cambio. El resultado obtenido fue el de un complejo patrón en la distribución espacial de las clases, indicando que prácticamente toda el área estudiada sufrió modificaciones (Fig. 7); sin embargo no se pudo determinar el origen de estos cambios debido a fenómenos multivariados, tales como, diferencias de densidad de la nieve, variaciones en el porcentaje de humedad, espesor del manto nivoso, transformaciones en la microtopografía de las acumulaciones nivoeólicas, entre otros.

Usando el mismo método, se efectuó una clasificación no supervisada de tres fechas con 60 clases; esta imagen entregó como resultado clases que señalan conjuntos de modificaciones producidas en el ambiente entre las fechas estudiadas, apreciándose un patrón de cambios en las formas de reflexión, propios de cada uno de los ambientes morfogenéticos predefinidos (Fig. 8). En ella, el ambiente de glaciares altos presenta un color celeste, la de glaciares bajos un tono verde claro, el área de transición (fusión glacial) en magenta grisáceo y finalmente el sector periglacial en magenta.

Utilizando patrones de interpretación definidos, mediante el uso de la imagen SPOT-1 (Fig. 9), se realizó una recodificación en seis categorías de las clasificaciones no supervisadas de 20 y 60 clases (Fig. 10). De esta manera se pudo distinguir una zonación en fajas morfoclimáticas sensiblemente parecida a la obtenida anteriormente con SPOT-1, en donde el color magenta representa al ambiente glacial, el color verde el área de transición y el naranja la zona periglacial.

Los resultados obtenidos con las imágenes ERS-1 han permitido, finalmente, llegar a la determinación de ambientes morfoclimáticos en el área de estudio, ello ha sido posible gracias a que se contaba con un trabajo anterior mediante el uso de SPOT-1 (Andrade y Vicuña, 1993), lo que permitió reconocer áreas a través de un patrón de interpretación previo. El conocimiento acabado de las condiciones de terreno, junto con las propiedades físicas de los distintos tipos de cobertura, en diferentes fechas, habrían sido un útil aporte para un mejor aprovechamiento de la gran cantidad de información proporcionada por ERS-1.

Es evidente que las imágenes de radar son una útil herramienta para los estudios antárticos, ya que permiten un seguimiento multitemporal a lo largo de cualquier estación, dada su independencia de las condiciones de luminosidad y meteorológicas; igualmente se pudo apreciar que para estudios geomorfológicos, la complementación con la información entregada por los sistemas ópticos es indispensable.

Los resultados en la discriminación de ambientes fueron obtenidos a través de una imagen multitemporal, la que muestra los cambios en cada zona. Si bien, las causas de dichos cambios no han podido ser precisadas, dado su carácter multivariado, se puede pensar que en cada ambiente se efectúa un conjunto de procesos propios, lo que da como resultado una firma de reflexión específica, distinguible en las imágenes.

REFERENCIAS

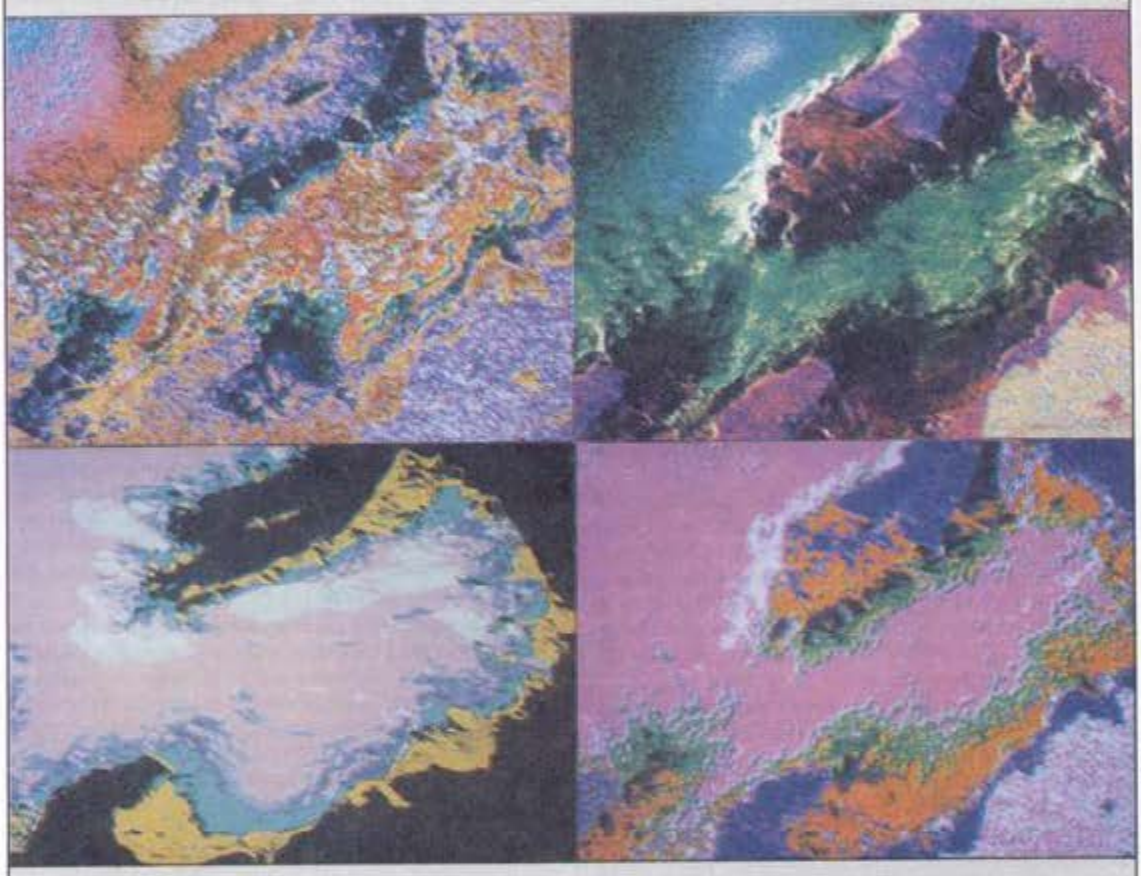
ANDRADE, B. y VICUÑA, P. 1993. **«Determinación del ambiente periglacial en la Costa Sur de la Isla Rey Jorge mediante el uso de SPOT-1».** Revista SELPER. Vol. 9, Nº 1-2: 79-82.

CLAPPERTON, CH. y SUGDEN, D. 1983. **«Geomorphology of the Ablation Point massif, Alexander Island, Antarctica».** Boreas, Vol. 12: 125-135.

HERVE, F. y ARAYA, R. 1965. **«Estudio Geomorfológico y Geológico en las Islas Greenwich y Robert, Shetland del Sur, Antártica».** Tesis. Escuela de Geología. Universidad de Chile. 220 pp. Santiago.

NIEMIEC, J. y RAWA, Z. 1989. **«Meteorological data from Polish Antarctic Station H. Arctowski».** Polish Polar Research, Vol. 10, Nº 2: 251-258.

ZHANG, Q. 1989. **«A Comparison of Periglacial Landfroms on the Vestfold Hills, East Antarctica, and on Fildes Peninsula, West Antarctica».** Antarctic Research. Vol. 2, Nº 1: 1-8.



7	8
9	10

Fig.7.- Clasificación no supervisada de ERS-1 con dos fechas en 20 clases.
Fig.8.- Clasificación no supervisada de ERS-1 con tres fechas en 60 clases.
Fig.9.- Zonación morfoclimática realizada con SPOT-1.
Fig.10.- Zonación de ambientes morfoclimáticos realizada mediante la recodificación de la clasificación no supervisada de ERS-1 para tres fechas en 60 clases.

USO DE IMAGENES ERS-1/SAR PARA LA CARACTERIZACION DE HIELOS FLOTANTES

H. Salgado, M. H. Picasso
Servicio de Hidrografía Naval, Dept. de Meteorología
Comodoro Py 2055, Piso 15 - (1104) Buenos Aires, Argentina
Tel. 54 1 312-5001/9, ext. 3080 - Fax: 54 1 311-2459

L. A. Frulla, D. A. Gagliardini
Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética (CAERCEM-CONICET)
Julián Alvarez 1218, (1414) Buenos Aires, Argentina
Tel: 54 1 772-1471- Fax: 54 1 776-0410

Resumen

Las imágenes obtenidas a partir del Radar de Apertura Sintética del satélite ERS-1 han demostrado ser muy útiles en el monitoreo de áreas con hielos. Ellas combinan la alta resolución espacial con la independencia de las condiciones climáticas y de luminosidad, factores que son limitantes para otros sensores que trabajan en el rango del visible y el infrarrojo cercano y térmico.

El presente trabajo tiene por objetivo explorar la mencionada utilidad y capacitarse en el reconocimiento de hielos flotantes, propios de los Mares Antárticos. En particular son analizadas imágenes del Sur del Mar de Weddell y de los alrededores de la Isla Marambio (al Este de la Península Antártica) y de la Bahía Margarita (al Oeste de la misma sobre el Mar de Bellinghausen). De la interpretación visual de las regiones citadas fue posible la determinación de grados de concentración de hielos, formas, estados de desarrollo y procesos de deformación. El análisis fue acompañado por datos captados in situ en las Estaciones Antárticas Argentinas y en el Rompehielos ARA Almirante Irizar. Los resultados son promisorios e incentivan a continuar con dichos estudios en procura de alcanzar un mayor conocimiento de las características que permitan la total identificación de los hielos marinos.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

1. INTRODUCCION

El medio ambiente antártico se caracteriza por tener el clima más riguroso de la Tierra, con temperaturas muy bajas, superándose los 0°C sólo en verano en el norte de la península.

El continente se encuentra en su mayor parte cubierto por hielo que se forma por sucesivas nevadas, las cuales presionan a las precedentes, comprimiendo la nieve y eliminando progresivamente el aire contenido. De este modo la nieve se convierte en hielo compacto (Lorenzini et al., 1993).

El hielo forma una capa que se desplaza sobre el suelo debido a su relieve, formándose así los llamados glaciares que llegan a la costa y flotan generando por lo tanto las conocidas barreras de hielo (como las de Larsen, Ronne y Filchner). La erosión marina produce desprendimientos de trozos llamados témpanos (icebergs) que son de forma tabular y de gran tamaño (en algunos casos alcanzan longitudes mayores de 100 km).

De lo explicado arriba se desprende que los témpanos están formados por hielo de origen continental (con agua dulce) y se desplazan arrastrados por las corrientes, emergiendo sólo una parte menor sobre el nivel del mar y quedando varados cuando la profundidad no permite su paso.

El otro tipo de hielo flotante es el formado en el mar, por congelamiento de sus aguas, se lo llama hielo marino y está compuesto por agua salada.

La cobertura de hielo juega un papel fundamental en la estabilidad del clima global, controlando y modulando los procesos de interacción entre atmósfera, criósfera, hidrósfera y biósfera.

El conocimiento del hielo flotante es considerado de máxima importancia dentro de los estudios científicos realizados por las Campañas Antárticas y en las Bases instaladas en la Antártida. Los datos aportados por las observaciones glaciológicas terrestres y a bordo del Rompehielos Almirante Irizar (RHAI), son puntuales y obtenidos sólo en determinados momentos del año. La información satelitaria resulta imprescindible para extender dichas observaciones en el espacio y en el tiempo, posibilitando un monitoreo permanente y global.

Desde hace varios años se vienen utilizando imágenes provistas por satélites NOAA/AVHRR, pero en regiones de alta frecuencia de días nublados y poca luminosidad, como la Antártida, el empleo de las longitudes de onda visible o infrarroja se ve limitado. No ocurre lo mismo con las microondas puesto que pueden ser utilizadas independientemente de las condiciones de luz y nubosidad.

El Radar de Apertura Sintética (SAR) del satélite europeo ERS-1 se presenta como una herramienta idónea para la caracterización del hielo flotante puesto que sus mediciones están relacionadas con las propiedades morfológicas y físico-químicas del hielo (geometría, rugosidad, distribución de nieve y concentración de salinidad) (Drinkwater et al., 1993). Para utilizar dicha herramienta y

Tabla 1. Características de las imágenes empleadas.

zona	órbita/cuadro	fecha	modo	coordenadas del centro del cuadro
Mar de Weddell	2624/5535	16/01/1992	asc.	76° 54' S 38° 54' W
Isla Marambio	3082/5859	17/02/1992	asc.	64° 35' S 56° 32' W
Bahía Margarita	8127/5031	03/02/1993	desc.	68° 37' S 68° 8' W

capacitarse en su empleo, se seleccionaron algunas zonas de interés, que anualmente son navegadas por los buques en las sucesivas campañas de apoyo a los estudios científicos que se realizan en la Antártida.

2. MATERIAL UTILIZADO

Se seleccionaron regiones cercanas a algunas Bases Antárticas Argentinas, durante los meses de verano para el Hemisferio Sur, en días en los que la información de campaña de control disponible eran aproximadamente coincidentes con la pasada del satélite (Tabla 1 y Figura 1).

Los estudios de hielos con SAR en general se ven complementados con información proveniente de otros sistemas satelitarios y de observaciones realizadas con buques (Askne et al., 1994; Fett et al., 1994; Johannessen et al., 1993). Para este análisis se contó con la siguiente información:

a) Glaciológica

- Observaciones de concentración, edad y formas en las Bases Vicecomodoro Marambio, San Martín y Belgrano II)
- Observaciones realizadas por el RHAI durante las campañas 1992 y 1993.
- Cartografía de hielos marinos del Navy-NOAA Joint Ice Center, Naval Polar Oceanography Center, Swtland, USA.

b) Meteorológica

- Estadísticas climatológicas (decenios de 1960 a 1970, de 1970 a 1980 y de 1980 a 1990) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) - Fuerza Aérea Argentina.
- Datos registrados en los mensajes SYNOP del SMN.
- Datos registrados por la Estación Meteorológica del RHAI.

c) Cartográfica

- Cartas náuticas antárticas del Servicio de Hidrografía Naval (SHN) - Armada Argentina.

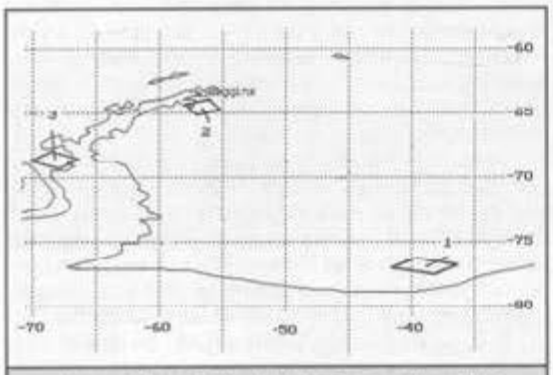


Figura 1. Disposición de las imágenes disponibles obtenidas con el programa DESC otorgado por la ESA. Los cuadros abarcan los alrededores de (1) Sur del Mar de Weddell; (2) Isla Vicecomodoro Marambio; (3) Bahía Margarita en el Mar de Bellingshausen.

3. ANALISIS DE IMAGENES ERS-1/SAR

La imagen de precisión estándar de la ESA (producto PRI) está obtenida con el SAR operando en la banda C y resulta de procesar los datos crudos con 3-vistas no solapadas. Esta imagen está proyectada sobre el plano de la tierra y cubre una distancia de 100 km en dirección perpendicular a la trayectoria del satélite y aproximadamente la misma cantidad en azimut. El producto es de 16 bits remuestreado a un tamaño de pixel de 12.5 m en ambas direcciones. Sin embargo la resolución espacial es menor y queda determinada por los parámetros de procesamiento en rango y azimut (nominalmente en rango mejor que 33 m y en azimut mejor que 30 m). En particular en este trabajo se utilizaron estas imágenes convertidas a 8 bits utilizando un procedimiento de reescalado lineal de 2 desviaciones estándar alrededor de la media. La ventaja de trabajar con las imágenes reescaladas consiste en requerir un menor espacio de disco y reducir el tiempo de cálculo para el preprocesamiento que se les aplicó previo a la interpretación visual.

Las imágenes SAR muestran un gran detalle de la superficie terrestre, sin embargo en una simple inspección de una imagen de radar se observa que aún en el caso de superficies muy homogéneas, es posible observar importantes variaciones en los tonos de gris entre pixeles adyacentes. Estas variaciones generan una textura granulosa característica de las imágenes de radar, están causadas por la radiación coherente que utilizan los sistemas de radar y es lo que se conoce con el nombre de ruido speckle (Ulaby et al., 1982; Curlander y McDonough, 1991).

El efecto del *speckle* es el de enmascarar los patrones espaciales de interés y para reducirlo, a las imágenes mencionadas se les aplicó el filtro de Lee multiplicativo presente en el paquete de programas de radar cedido por la ESA. Este filtro pide dos parámetros de entrada: el tamaño de la ventana y la desviación estándar del ruido. Ambos fueron obtenidos de una manera preliminar. El tamaño de la ventana se estimó de acuerdo con el grado de heterogeneidad de la imagen. La desviación estándar del ruido fue estimada mediante la selección de distintas áreas homogéneas y el cálculo correspondiente del coeficiente de variación para cada una de ellas. El promedio de los coeficientes de variación calculados fue tomado como el valor de la desviación estándar del speckle (Mastin, 1985).

4. INTERPRETACION DE LAS IMAGENES SAR

A los efectos de interpretar los hielos marinos se adoptó la clasificación y nomenclatura definida por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1970). Se procuró determinar en las imágenes estados de desarrollo (o edad del hielo), características del hielo a la deriva, procesos de deformación, aberturas en el hielo y algunos tipos de hielos flotantes.

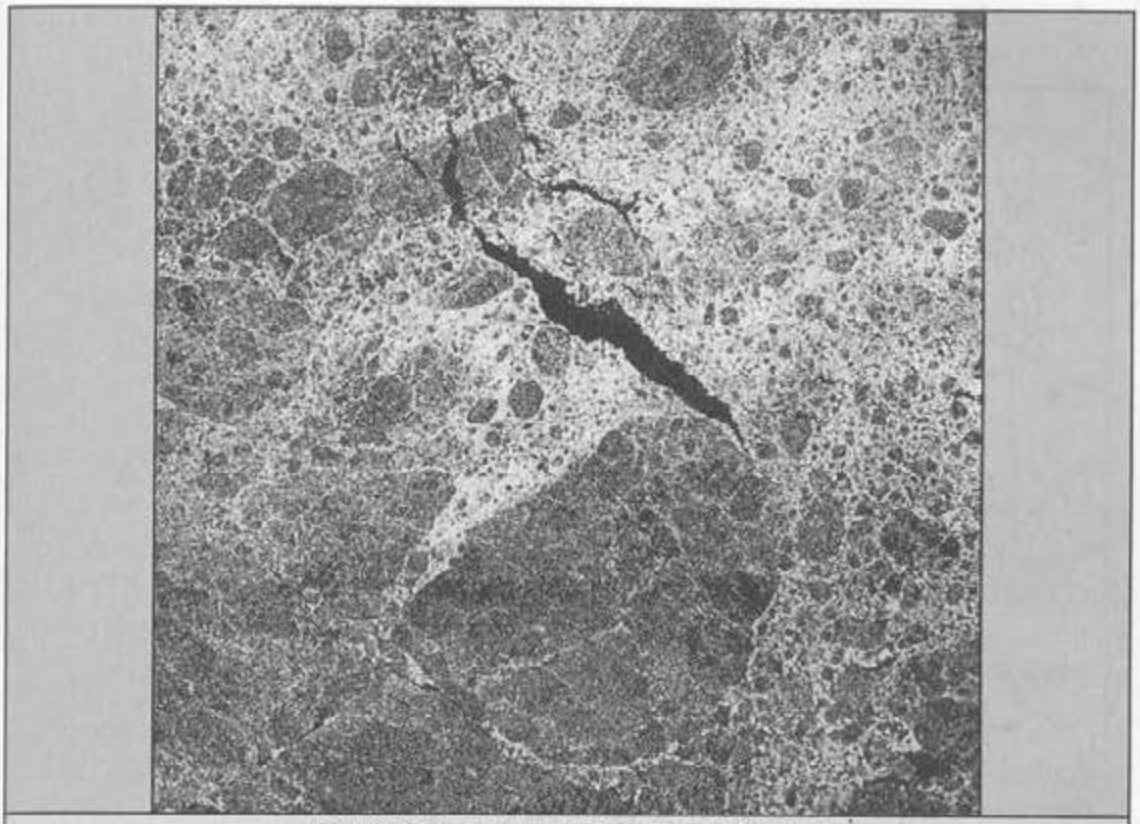


Figura 2. Sector de imagen del Sur del Mar de Weddell.

La Figura 2 muestra la imagen del Mar de Weddell, con centro al Noroeste de la Base Argentina General Belgrano II. Se observa hielo a la deriva muy cerrado, lo cual significa que la concentración está entre 9/10 y 10/10. Tal determinación coincide con la información provista por la cartografía de hielos del NOAA Joint Ice Center (Suitland, USA), la cual registra una concentración de 9/10 para una vasta zona del Mar de Weddell. También el RHAI encuentra concentraciones de 9/10, aunque su posición está alrededor de 75 km al Este de la imagen. Efectivamente, casi toda la imagen está cubierta por hielo marino, con excepción de algunas aberturas del tipo de fracturas, en las cuales se encuentra agua en calma, que se manifiesta con tonalidades oscuras en la imagen (Ice Center, 1994). Esto se confirma por las observaciones de viento de sólo 5 km/h de intensidad realizadas en la Base Antártica Belgrano II.

En cuanto a las formas del hielo, se observan bandejones con tamaños que van desde medio (entre 100 y 500 m) hasta vasto (entre 2 y 10 km). En éstos se distinguen consecuencias de procesos de presión y fusión, con acordonamientos notorios y piletas de fusión, típicos de mediados de verano. Las observaciones realizadas por el RHAI coinciden en la presencia de bandejones de diverso tamaño y de hielo del primer año de modo predominante. La tonalidad gris se explica por la cobertura de nieve húmeda que disminuye la influencia de la textura y los valores medidos por el sensor (Askne et al., 1993). La nieve se encuentra en proceso de fusión debido a las condiciones climáticas de la fecha, puesto que durante los 10 días anteriores se registraron en Base Belgrano II temperaturas superiores a -2° C y vientos suaves o calmas.

Además en la Figura 2 se observan áreas más claras que se interpretan como escombro. Estas áreas por su rugosidad y posición, presentan altos valores medidos por el sensor (Turner et al., 1994).

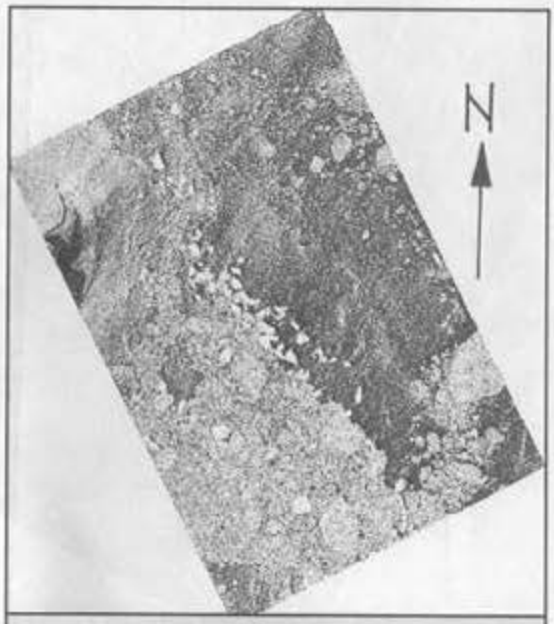


Figura 3c) Témpanos al Este de Marambio.

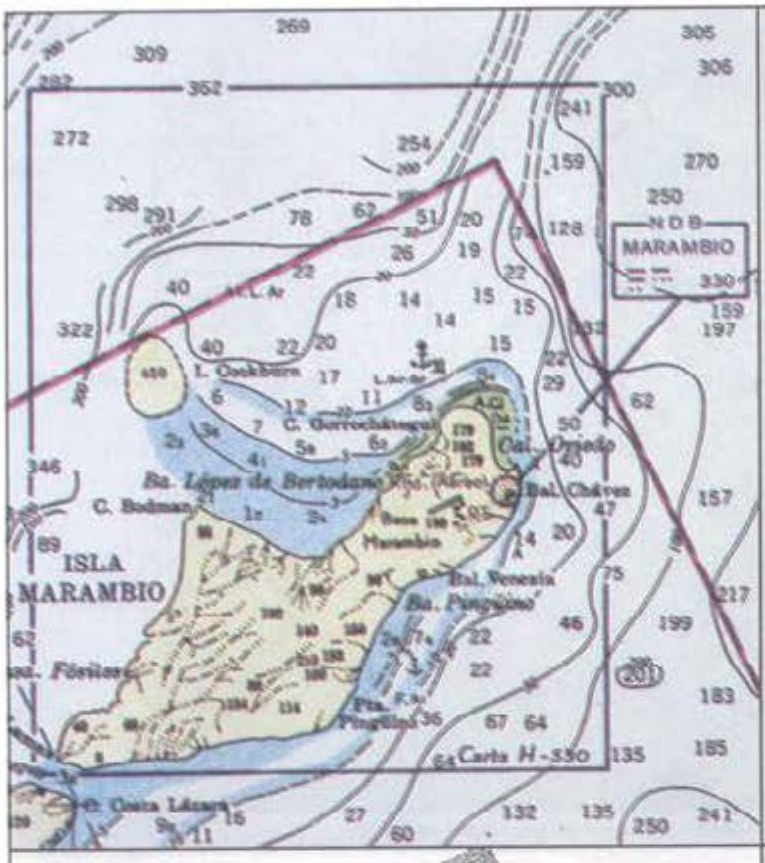


Figura 3a)
Sector de carta náutica correspondiente a la isla Vicecomodoro Marambio.

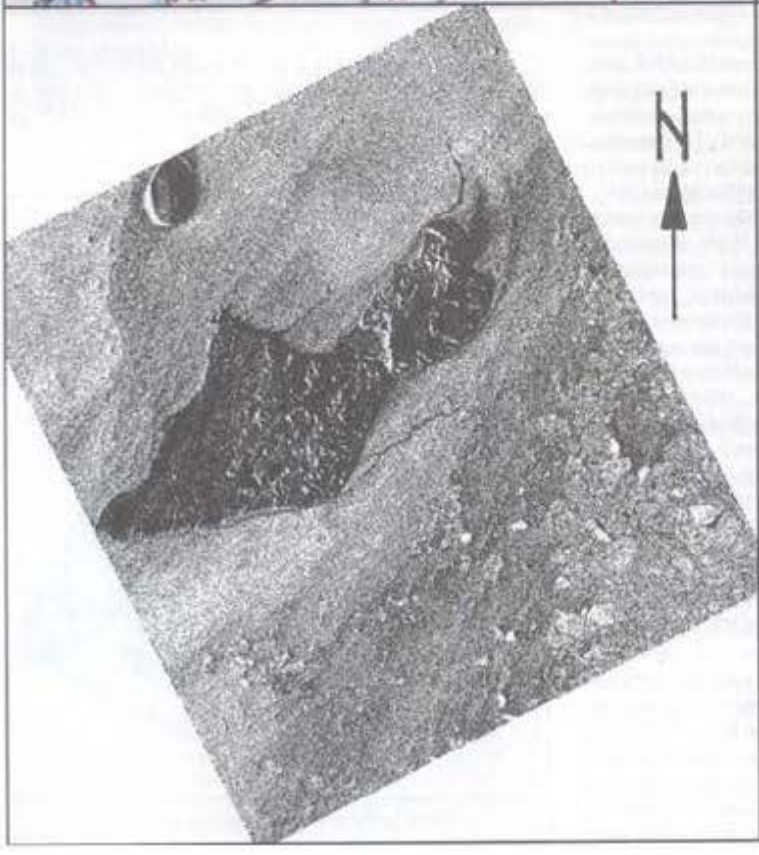


Figura 3b)
Imagen con la Isla Marambio.

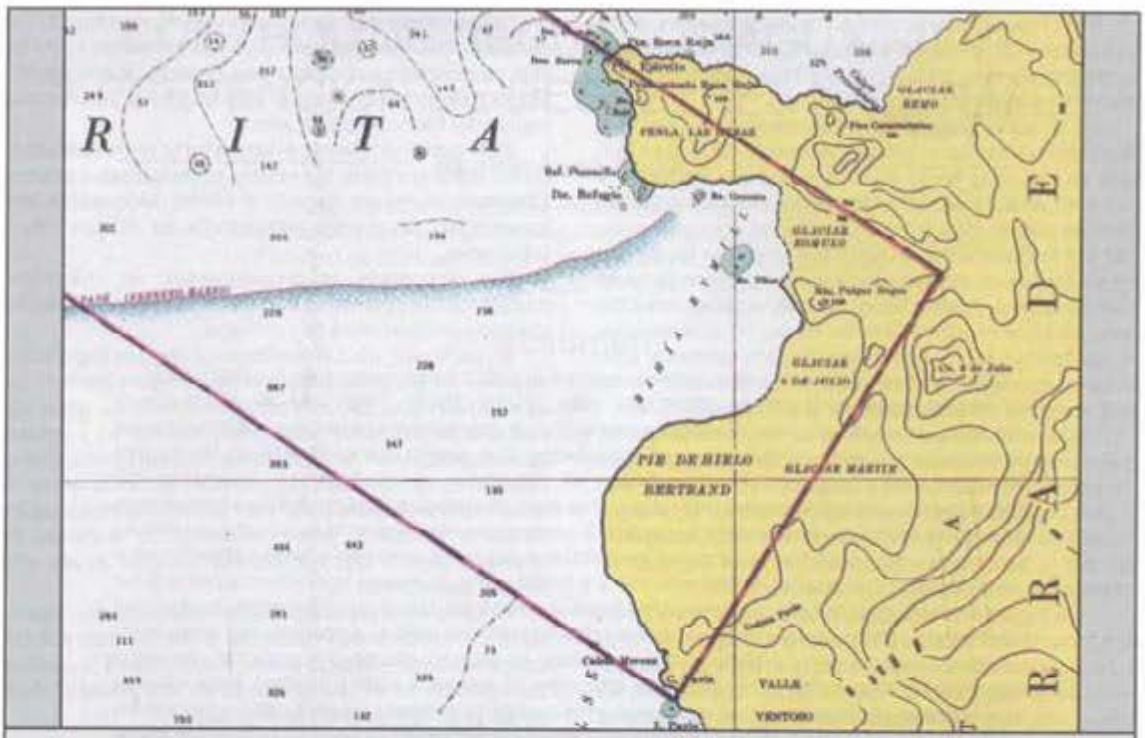


Figura 4a) Sector de carta náutica correspondiente a Bahía Margarita.

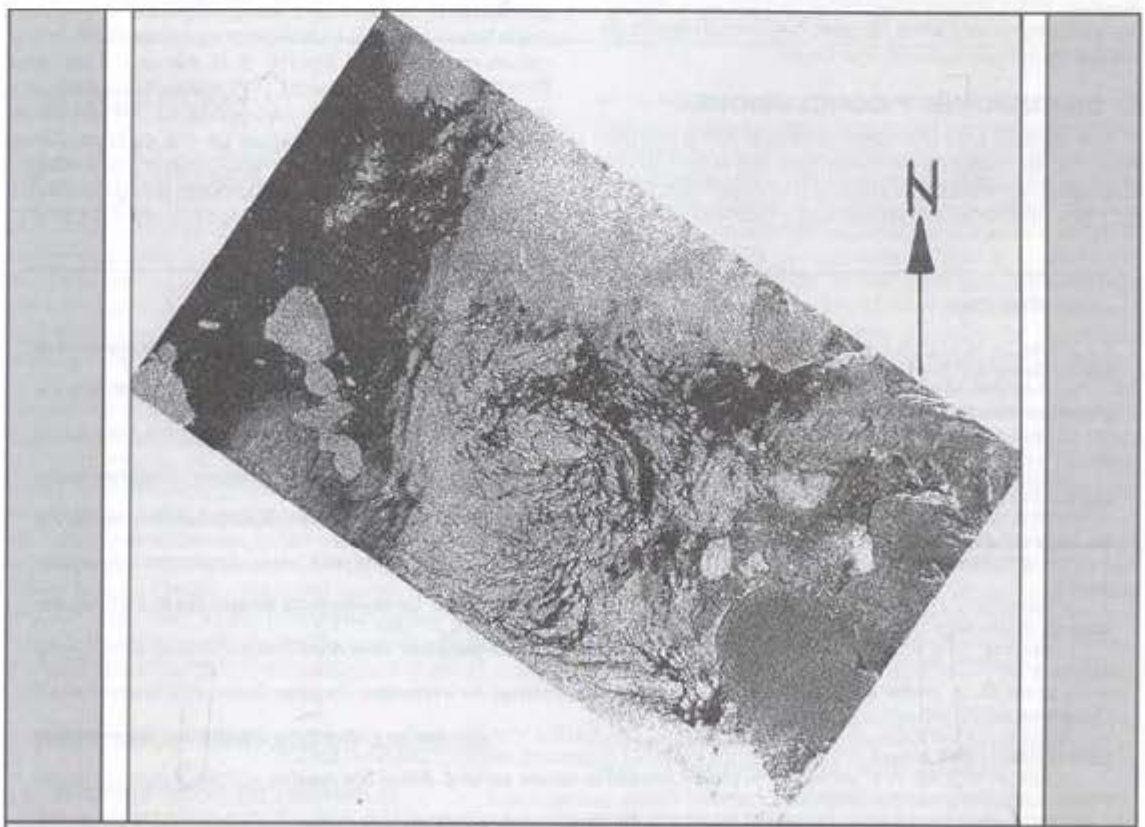


Figura 4b) Imagen ERS de Bahía Margarita.

En la Figura 3 se muestra la carta y la imagen de los alrededores de la Isla Marambio en la misma escala. Aquí se distinguen dos situaciones distintas según su alejamiento desde la costa.

En la zona costera se notan franjas oscuras que bordean la orilla y se extienden hacia el Norte (Figura 3b). Esto se interpreta como agua libre que por efecto de la corriente, arrastra pequeñas tortas que navegan y quedan varadas cuando baja la marea. Las registraciones realizadas por la Base Vicecomodoro Marambio en las Bahías Pingüino y López de Bertodano tienen un alcance de hasta 1 km de la orilla. En esta Base las observaciones detectan concentración muy baja de hielo marino (1/10) de desarrollo del primer año y con forma de torta pequeña (con tamaños menores de 2 m). Estas características hacen que no pueda ser detectado por el SAR (WMO, 1970).

Hacia el Este, lejos de la Isla, se observan témpanos que navegan rodeados por el pack, compuesto por hielo del primer año de acuerdo a las observaciones del RHAI (Figura 3c). Los témpanos son fácilmente distinguibles por los valores altos que mide el sensor acompañados siempre por la sombra que proyectan, que se visualiza en tonalidades muy oscuras (Turner et al., 1994).

En la Figura 4 se muestran la carta y la imagen de los alrededores de la Bahía Margarita. En la Figura 4 (a) se indicó mediante líneas entrecortadas la región de intersección con la imagen. En la Figura 4 (b) se observa hielo del primer año, con avanzado estado de fusión. La corriente marina se muestra a través del remolino, donde aparecen agua y hielo combinados. Hacia el centro del sector se ve el límite del campo de hielo, donde se pasa a aguas abiertas. Estas ofrecen tonalidades oscuras en la imagen porque se hallan en calma, tal como confirma el registro de vientos de la Base General San Martín.

5. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos con la interpretación de las imágenes, se comprueba que el SAR es una muy buena herramienta para distinguir tipos de hielos flotantes y sus características geométricas y físico-químicas.

Para avanzar más en la discriminación del estado de desarrollo del hielo, se debería contar con mayor información de campaña y con imágenes térmicas, lo cual permitiría por ejemplo, discernir el hielo nuevo y las diversas etapas del hielo del primer año.

Es importante además el sincronismo entre el registro de los datos por parte del satélite y recolección de datos climáticos, como por ejemplo el viento, dado que la alta variabilidad de ciertos parámetros no admite interpolaciones.

Por otra parte, la disponibilidad de imágenes multitemporales permitiría estudiar los procesos de deformación y la cinemática de los hielos.

En particular, para el monitoreo costero es importante disponer de pasadas ascendentes o descendentes, de acuerdo con posición de la costa en estudio. Es decir, las costas orientales están mejor descritas por las pasadas descendentes (con observaciones hacia el Oeste), mientras que las occidentales con pasadas ascendentes (con observaciones hacia el Este). Esto se percibió en la imagen de Bahía Margarita, costa occidental de la Península Antártica, para la que hubiera sido de gran ayuda una imagen ascendente.

Finalmente, la experiencia obtenida resulta muy interesante y promisoria con referencia al uso de este tipo de imágenes en estudios de hielos, y abre paso a la posible capacitación en el uso de imágenes simplificadas (fast delivery) en aplicaciones operativas.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento al siguiente personal científico y técnico del Servicio de Hidrografía Naval: al Ing. E. Donofrio por su colaboración con el cálculo de las mareas, a la Téc. S. M. Alonso por los datos SYNOP, a los Téc. B. Lorenzo, C. Romero y N. Cattaneo por la bibliografía y las sugerencias aportadas. Así también al CAERCEM por la disponibilidad de los equipos y muy especialmente la colaboración recibida de la Agencia Espacial Europea (ESA) por habernos provisto la información y el paquete de filtros utilizados para el desarrollo del trabajo.

REFERENCIAS

ASKNE, J., ULANDER, L. M. H., CARLSTROM, A., SUN, Y. y BIRKELAND, D. (1993): **Validation of ERS-1 / SAR measurements of sea ice during ARTIC-91.** *Proceedings of the First ERS-1 Symposium, Cannes, France, ESA SP-359, 289-294.*

ASKNE, J., ULANDER, L. M. H., CARLSTROM, A., SUN, Y. y PERTERSON, M. (1994): **Validation of ERS-1 / SAR for artic ice properties from ARTIC-91.** *Proceedings of the Second ERS-1 Symposium, Hamburg, Germany, ESA SP-361, 257-261.*

CURLANDER, J. C. y McDONOUGH, R. N. (1991): **Synthetic Aperture Radar. Systems and signal processing.** *(John Wiley & Sons Inc., New York, Whichester, Brisbane, Toronto, Sigapore).*

DRINKWATER, M. R., LONG, D. G. y EARLY, D. S. (1993): **Enhanced-Resolution ERS-1 scatterometer imaging of southern ocean sea ice.** *ESA Journal. Vol. 17, Nº 4, 307-322.*

FETT, R. W., BURK, S. D., THOMPSON, W. T y KOZO, T. L. (1994): **Environmental phenomena of the Beaufot Sea observed during the leads experiment.** *Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 75, Nº 11, 2131-2145.*

ICE CENTER (1994): **Analysis and forecasting SAR ice interpretation guide.** *Environment Canada, Atmospheric Environment Service.*

JOHANNESEN, O. M., SANDVEN, S., CAMPBELL, W. J., SHUCHMANN, R. (1993): **Ice studies in the Barents Sea by ERS-1 during sizex 92.** *Proceedings of the first ERS-1 Symposium, Cannes, France, ESA SP-359, 277-282.*

LORENZINI, H. N., REY BALMACEDA, R. y ECHEVERRIA, M. J. (1993): **Geografía de la Argentina.** *A-Z editora, Buenos Aires, Argentina.*

MASTIN, G., A. (1985): **Adaptive filters for digital noise smoothing: An evaluation.** *Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 31, 103-121.*

TURNER, J., CORCORAN, G., LACHLAN-COPE, T. A., y THOMAS, J. P. (1994): **Sea ice motion in the Weddell Sea, Antartica from pairs of ERS-1 / SAR images.** *Proceedings of the first ERS-1 Symposium, Hamburg, Germany, 303-308.*

ULABY, F., MOORE, R. K. y FUNG, A. K. (1982): **Microwave remote sensing. Active and passive.** *Volumen II (Addison-Wesley Publishing Company, London, Amsterdam, Don Mills, Ontario, Sydney, Tokyo).*

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1970): **Nomenclatura de la OMM del hielo marino.** *EMO/OMM/BMO Nº 259, tp. 145, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.*

CONTROL DE RECURSOS AGUA/NIEVE Y PREVENCION DE DESASTRES NATURALES

Mauricio Araya-Figueroa

Director Editorial SELPER, Presidente SELPER (1983-86)
Asesor Científico Instituto Antártico Chileno - Académico, Centro Recursos Hidráulicos,
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Presidente Madero 795 (Ñuñoa), Santiago, Chile. Fax: (56.2) 698.1474 y 696.7194

Resumen

La factibilidad de emplear datos ERS-1 y 2 como complemento de otra información satelital (Landsat TM, NOAA/AVHRR, MOMS, SPOT), abre importantes perspectivas para mejorar la operatividad de programas ya existentes o de iniciar nuevas líneas de aplicaciones, en el campo del estudio de los recursos agua/nieve y la prevención de consecuentes desastres naturales. Concretamente, los modelos de predicción de caudales de deshielo podrían beneficiarse enormemente, al poder actualizar la línea de nieve en cualquier circunstancia climática, lo que resulta de vital importancia en situaciones de emergencia. Asimismo, el control de depositación de cenizas y derretimiento brusco de nieve asociados a erupciones volcánicas, también podrían mejorarse notablemente mediante el empleo de datos ERS-1 y 2. Por otro lado, el seguimiento de fenómenos asociados a degradación ambiental, tales como la disminución de ozono atmosférico y existencia de otros gases contaminantes, la deforestación y erosión subsecuente en zonas australes usualmente cubiertas de nubes, el potencial derrame de contaminantes (petróleo u otros) en mares y lagos, resultan ahora posibles gracias al empleo de datos ERS combinados con información satelital más tradicional; existen también importantes aplicaciones operativas para la navegación en zonas con hielos, estudios de batimetría y corrientes oceánicas. Sería de gran utilidad una estación ERS que llene el vacío de alcance entre las estaciones de Cuiabá y O'Higgins. El análisis realizado, si bien se basa principalmente en experiencias chilenas, es perfectamente válido y extrapolable a países hermanos en América del Sur.

1. INTRODUCCION

El empleo operativo de datos ERS-1 (SAR y otros) demostrado en estos últimos años (M. Fea, 1995), permite pensar seriamente en intensificar varios programas ya en desarrollo, de modo de pasar a una fase operativa, realmente eficaz en condiciones de emergencia. La posibilidad de toma de datos en cualquier condición de tiempo así lo permite, logrando una excelente complementación con otros datos satelitales más tradicionales (Landsat TM, NOAA, MOMS, SPOT). Por otro lado, la perspectiva de tener una misión conjunta (tandem) ERS-1/2, resulta especialmente atractiva, por las importantes aplicaciones en interferometría que se implementarán, así como por la posibilidad de seguimiento de fenómenos dinámicos asociados a eventuales desastres naturales (inundaciones, erupciones volcánicas, nevazones excesivas, tormentas en zonas costeras o de navegación, etc.). La existencia de la Estación Alemana ERS en la Base Chilena O'Higgins, resulta de vital importancia (K. Reiniger, 1995) para estas aplicaciones. La Figura 1 muestra el radio de acción aproximado de ésta, resultando especialmente adecuada para el extremo sur de Sudamérica y zonas antárticas inmediatas.

2. RECURSOS AGUA/NIEVE ANDINOS

2.1. PRONOSTICOS DE DESHIELO

Una importante aplicación para la zona Central de Chile (y lógicamente, Argentina), particularmente entre los 28 S y 37 S, son los modelos de pronóstico de caudales de deshielo, pues durante la temporada seca de verano (Octubre-Marzo), el agua disponible para regadío, recreación, agua potable, depende casi exclusivamente de la nieve acumulada durante el invierno en la Cordillera de Los Andes, cuyo derretimiento aporta este vital suministro (en la zona 32 S a 35 S, se concentra el 70% de la población chilena). Estos modelos se han verificado exitosamente, empleando datos Landsat y SPOT (NOAA, como referencia), existiendo principalmente Modelos de Pronóstico Estacional (Fig. 2) y Diario (Fig. 3). Estas experiencias se realizaron con la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y la Universidad de Chile (M. Araya, A. Farías y H. Peña, 1983; M. Araya, 1984; M. Araya y F. Muñoz, 1987). Sin embargo, estos modelos están limitados para el pronóstico rápido en condiciones de emergencia, justamente por la imposibilidad de determinar la cota o altura a que se ubica la línea de nieve en esas circunstancias, de modo de cuantificar en mejor forma ese aporte bajo lluvia. Estas situaciones se han verificado en los últimos años (con desastrosas consecuencias de pérdidas de vidas y enseres), debido a "lluvias cálidas" en el invierno, donde probablemente por efecto de la Corriente del Niño, se producen precipitaciones a mayor altura de la normal, produciendo un caudal de emergencia subsecuente, donde se combina el aporte pluvial más el derretimiento de la nieve por esa lluvia que se produce a mayor altura.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de imágenes multitemporales ERS-1, combinadas para reconocer variaciones en la cubierta de nieve (gentileza ESA y Dr. H. Rott). También existen interesantes experiencias con

interferometría, para medir variaciones de alturas. Finalmente, existe la posibilidad de complementar la información ERS con otros datos satelitarios (Landsat, NOAA, GOES, METEOSAT, SPOT, MOMS) y también con información hidrometeorológica medida a nivel de terreno, en forma convencional o automática. Al respecto, la Dirección General de Aguas (DGA) y el Instituto Antártico Chileno-INACH (M. Araya, A. Mazzei, A. Sepúlveda y J. Tapia, 1990), operan desde 1978 redes de DCPs (Plataformas Colectoras de Datos), que envían vía satélite información desde sitios remotos en Los Andes o la Península Antártica (velocidad/dirección del viento, temperatura/humedad relativa del aire, radiación solar, presión atmosférica, equivalente columna agua-nieve). Los planes de la DGA son para 1996, implementar operativamente la red de DCPs y los Modelos de Pronósticos de Caudales, mediante datos

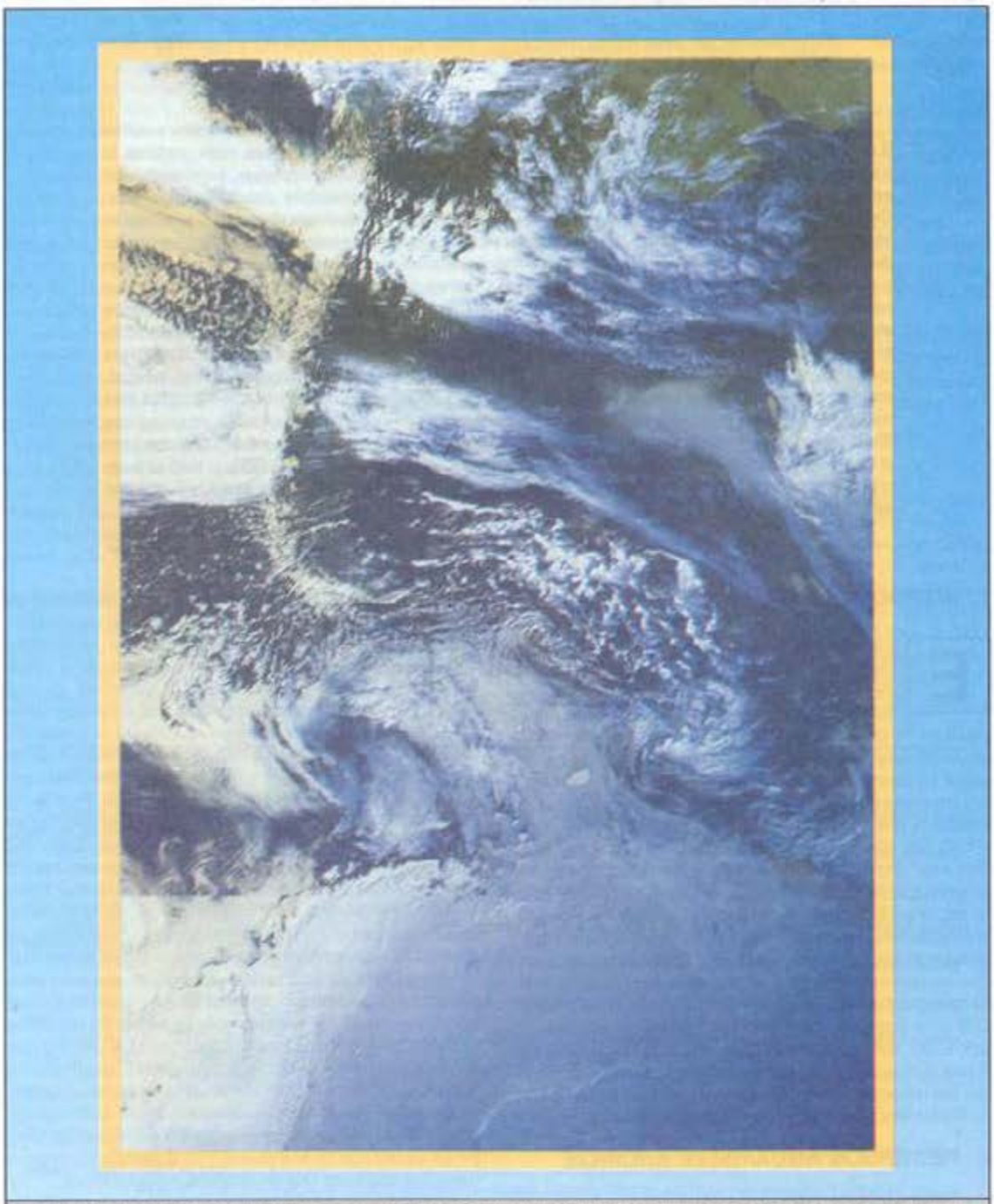


FIGURA 1. MOSAICO NOAA/AVHRR TOMADO POR LA ESTACION ERS O'HIGGINS. Las nubes delinean la silueta del extremo sur de Sudamérica; se ve la desembocadura del Río de la Plata (extremo superior derecho). Abajo aparece la Península Antártica, con un témpano de gigantescas proporciones, en el tercio inferior derecho (Fuente: DLR).

FIGURA 4. COMPOSICION MULTITEMPORAL ERS-1 EN LOS ALPES AUSTRIACOS. Las imágenes corresponden al 01/06/92, 06/07/92 y 10/08/92, en la zona de Ötzal. El color amarillo-verde indica áreas donde desapareció la nieve entre el 1 de Junio y el 6 de Julio; el sombreado rojo-púrpura muestra la ausencia de nieve entre el 6 de Julio y el 10 de Agosto; el color café-negro indica las áreas cubiertas de nieve en los glaciares el 10 de Agosto. (Fuente: ESA; H. Rott)

ERS y de otros satélites. La Figura 5 ejemplifica la confiabilidad del enlace para DCPs en la Peninsula Antártica, incluso durante el período más crítico.

2.2. INUNDACIONES FLUVIALES

Si bien el pronóstico de caudales resulta especialmente importante en la Zona Central de Chile, también en la Zona Austral es de importancia significativa, solamente que en esa región se deben considerar modelamientos nivo-pluviales, siendo el principal problema las inundaciones producidas por exceso de lluvias. Durante el invierno

FIGURA 7. Sector de imagen MOMS-02 sobre Antofagasta, mostrando áreas donde las protecciones camineras a lo largo de la Carretera Panamericana resistieron o fueron sobrepasadas por los aluviones típicos de fin de año (Fuente: DLR, AGF/U. Munich).

de 1982 y 1986 (y deshielo del verano 1987), se registraron precipitaciones y consecuentes inundaciones, correspondientes a la estadística hidrológica 1/100 años. Lamentablemente no se disponía de productos como las imágenes

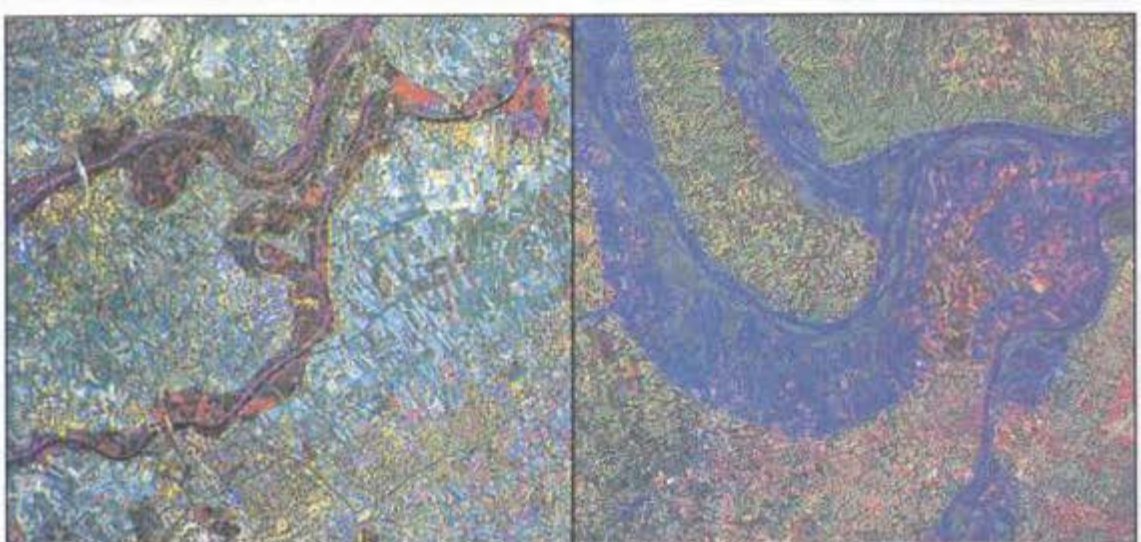


FIGURA 8. (Izq.) COMPOSICION MULTITEMPORAL ERS-1 SOBRE EL BAJO RHIN. Imágenes tomadas el 30/01/95 (en verde), el 05/02/95 (en rojo) y situación normal del 21/09/94 (en azul). El nivel anormal del río se aprecia en magenta, mientras su curso normal se aprecia en azul oscuro; las zonas rojas dentro de las áreas inundadas representan áreas que han emergido entre el 30 de Enero y el 5 de Febrero (Fuente: ESA; J. Lichteneger).
(Der.) COMPOSICION ERS-1 y SPOT SOBRE EL MEDIO-OESTE NORTEAMERICANO. La imagen ERS-1 fue tomada durante la inundación (2 Agosto 1993), mientras que la imagen SPOT corresponde a una situación normal (11 Mayo 1988). El nivel normal del río se aprecia en azul oscuro, mientras que las áreas inundadas se muestran en tonos azul-púrpura (Fuente: ESA, 1993; CNES, 1993; análisis de ITD Space Remote Sensing Centre; cortesía de Radarsat Internacional).

SAR, pero igualmente se levantó un plano empírico de los principales puntos débiles azotados por las inundaciones y sus consecuencias (cortes de caminos, puentes, destrucción de propiedades agrícolas y urbanas, etc.). Así se elaboró un Plan Nacional de Defensas Fluviales (a cargo del Ministerio de Obras Públicas, Dpto. de Defensas Fluviales), comenzando por los puntos más críticos (Fig. 6), para así ir defendiendo año a año todos los sectores con peligro potencial futuro. Sería muy importante hacer un seguimiento temporal del comportamiento de tales obras, pues es sabido que ellas obligan al río a cambiar su curso y, a futuro, afectar otras zonas no consideradas (M. Araya F., 1992). Este proyecto (en preparación actualmente) requeriría imágenes de alta resolución: Landsat TM, SPOT y MOMS (Fig. 7), pues está programada una misión MOMS/Priroda durante dos años, a contar de 1996 (H. Mehl et al., 1994). Además se necesitaría información estadística anterior (Landsat u otra), pero también la incorporación de imágenes SAR, para ser empleadas en condiciones de emergencia. En la Figura 8 se muestran interesantes y dramáticos ejemplos de seguimiento de inundaciones, mediante el empleo de imágenes multitemporales ERS-1 (SAR) combinadas con Landsat y SPOT. Cualquier Programa Operativo que pretenda dar información en condiciones de emergencia, no podría prescindir de la información de radar.

2.3. NEVAZONES INTENSAS

Durante el invierno austral 1995, se dio un inusual fenómeno de nevazón en el Sur de Chile (y Argentina) que causó grandes daños a la agricultura y, en particular a la ganadería, además de bloquear las comunicaciones viales. Si se hubiese dispuesto de imágenes SAR a tiempo, se podría haber pronosticado el avance y retroceso del fenómeno (y posiblemente a futuro, estimaciones de variación de alturas de nieve), para ir tomando medidas preventivas en las zonas más amagadas. Este fenómeno se extendió por unos 800 km de longitud, desde el extremo sur del país y duró casi una semana. Dadas las variaciones climáticas que están ocurriendo en el Planeta, no sería extraño que fenómenos similares se repitieren a futuro, por lo que la implementación de Programas Operativos que consideren información ERS sería de gran utilidad.

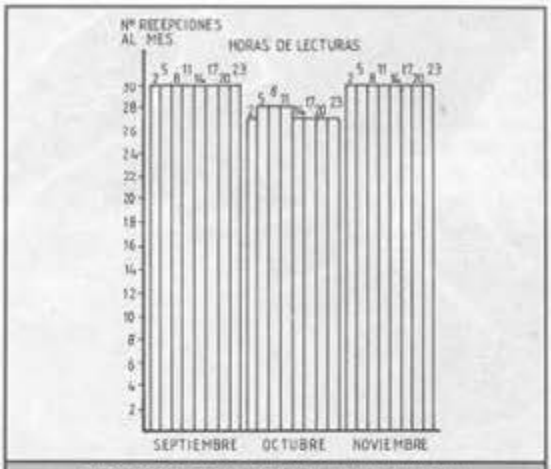
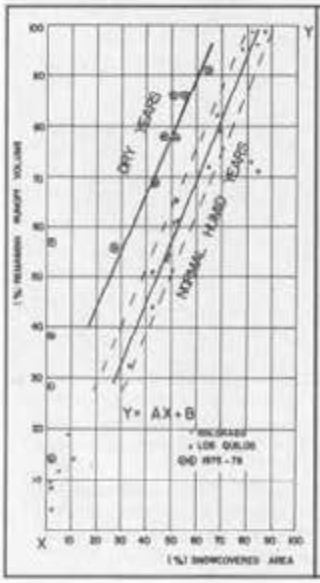


FIGURA 5. Confiabilidad del enlace antártico para DCPs del Instituto Antártico Chileno (INACH.)

3. DEGRADACION AMBIENTAL

3.1. CONTAMINACION ATMOSFERICA

Sin duda uno de los fenómenos a nivel planetario que más preocupa actualmente, está relacionado con la disminución de la capa de ozono, en especial en el hemisferio austral. El ERS-2 llevará un nuevo instrumento (GOME: Global Ozone Monitoring Experiment), que será de gran utilidad para estos propósitos. Tiene una concepción diferente a los instrumentos antes empleados, pues utiliza un nuevo sistema de medición (DOAS: Differential Optical Absorption Spectroscopy), en que el espectro solar es registrado simultáneamente en varias bandas espectrales de absorción, haciendo así las mediciones independientes de las variaciones de intensidad solar y de la sensibilidad de los detectores del GOME. Se emplean las tres



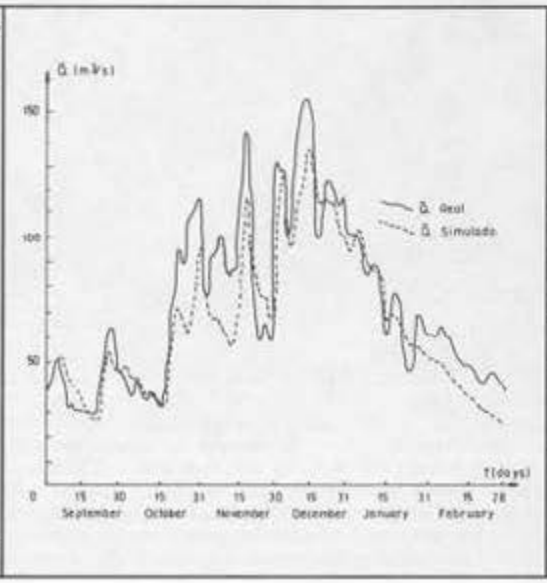


FIGURA 2. (izq.) PRONOSTICOS ESTACIONALES DE CAUDALES DE DESHIELO. En base a imágenes LANDSAT, se verificó una relación lineal para LogN (Cobertura de Nieve) vs. LogN (Caudal Remanente) (M. Araya, A. Farías, H. Peña).

FIGURA 3. (der.) PRONOSTICOS DIARIOS DE CAUDALES DE DESHIELO. La información de imágenes satelitales se complementó con variables hidrometeorológicas diarias (M. Araya, F. Muñoz).

Estos modelamientos son válidos para cuencas nivales andinas (zona central de Chile).

FIGURA 6. Tipica construcción de muros de enrocados para defensas fluviales, zona central de Chile (Fuente: Emp. Constructora del Choapa Ltda.).

bandas normales de absorción del ozono (Hartley, Huggins, Chappius), correspondientes a las bandas espectrales ultravioleta, visible, infrarrojo cercano, comprendidas entre 0,240 y 0.790 um.

Además de la mayor exactitud lograda gracias al sistema DOAS (al menos 3 veces más precisas), las mediciones con el GOME podrán realizarse durante todo el año, incluso en el invierno austral, cuando la luz solar en las zonas polares incide tan inclinadamente que no permitía medir con los anteriores instrumentos hasta ahora empleados, perdiendo así la importante dinámica del crecimiento del "hoyo" de ozono, el que ya estaba "abierto" cuando las mediciones de primavera recién podían comenzar. El muestreo del planeta lo hará en rectángulos de 40x40 (km) hasta 40x320 (km), dependiendo de la resolución espacial y temporal deseada. La Figura 9 ilustra esta idea. Está planificado poder confeccionar Cartas Mundiales Semanales del Ozono Atmosférico, para lo cual se centralizarán los datos en el Centro Alemán GOME, en Oberpfaffenhofen, cerca de Munich (DLR). Para ello, se actuará en colaboración con los Centros Científicos más importantes de Europa, Canadá, Estados Unidos y otros países.

Además, los datos del GOME permitirán estudiar fenómenos relacionados con aerosoles atmosféricos y gases como dióxido de sulfuro, óxido de nitrógeno e incluso micropartículas suspendidas en zonas más bajas de la

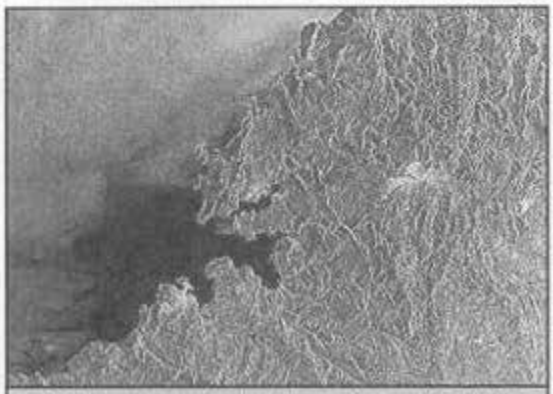


FIGURA 11. SECTOR DE IMAGEN SAR DEL 13 DICIEMBRE 1992, PUERTO LA CORUÑA, ESPAÑA. Se aprecia en tonos negros, la mancha de petróleo dejada 10 días antes por el naufragio del buque petrolero griego "Aegean Sea", derramando 79.000 Ton de crudo al mar.

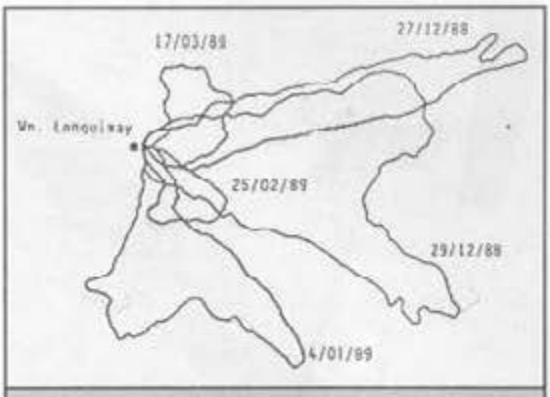


FIGURA 13. DISTRIBUCION ESPACIO-TEMPORAL DE PLUMA VOLCAN LONQUIMAY. Estudio con imágenes NOAA/AVHRR (P. Acevedo, 1994).

atmósfera. Los alcances reales de tan importantes aplicaciones se irán comprobando con el tiempo, a medida que el ERS-2 comience a entregar los valiosos datos GOME.

3.2. DEFORESTACION Y EROSION SUBSECUENTE

Aunque no es novedosa la aplicación de imágenes satelitales para el seguimiento y control de estos fenómenos (R. Pereira Da Cunha, 1992; P. R. Martini, 1992), muchas veces la capa de nubes en zonas tropicales o en zonas frías de latitudes altas, resulta una importante limitación para el rastreo sistemático de estos fenómenos. El empleo multitemporal de imágenes SAR permite sin problemas realizar estos estudios (Fig. 10). Particularmente, para la zona austral de Chile, resultaría de vital interés, atendiendo a las condiciones de nubes existentes y la adquisición programada sistemáticamente de datos ERS desde la Estación O'Higgins, por parte de personal técnico y científico del DLR. Si se considera el potencial empleo de técnicas interferométricas para estimar diferencias de alturas y consecuentemente, variaciones de biomasa, estas aplicaciones resultarán aún más interesantes.

3.3. DERRAMES DE CONTAMINANTES

Ha sido ampliamente probada la alta sensibilidad de las imágenes ERS (SAR) a la presencia de manchas de petróleo

FIGURA 14. SECTOR DE IMAGEN ERS-1 (18/11/92) SOBRE ISLAS GALAPAGOS, ECUADOR. Se aprecia claramente el patrón interno de ondas que ocurre en estas islas.

FIGURA 9. ESQUEMA DE OPERACION DEL INSTRUMENTO GOME DEL ERS-2. En el recuadro inferior, se aprecia el hoyo de ozono en el Polo Sur en 1987, en tonos azules (Fuente: ESA)

en el océano (Fig. 11), pues este líquido produce una calma relativa local en el oleaje, lo que es detectado por estas imágenes de radar. Estos estudios pueden ser realizados sistemáticamente en las zonas australes de Sudamérica y aledañas a la Antártica, dada la intensa actividad de navegación que se produce durante el verano antártico.

4. OTRAS APLICACIONES

4.1. ERUPCIONES VOLCANICAS

Existe una gran cantidad de volcanes activos en Los Andes australes (Fig. 12), cuya distribución superficial está relacionada con las zonas de subducción de las placas tectónicas Nazca y Sudamérica. Se han producido erupciones recientes en los Volcanes Lonquimay (1988/89), Hudson (1991) y LLaima (1994), además del Lascar (1993), en el extremo norte de Chile. Se han realizado interesantes estudios para seguir el comportamiento de la pluma volcánica (P. Acevedo, A. Llancaqueo, 1994), en base a imágenes NOAA/AVHRR, ejemplificados en la Fig. 13. Es sabido que la nieve derritiéndose tiene una baja reflectancia en el IR cercano, apareciendo muy bien las zonas de humedad. El nuevo instrumento ATSR (Along Track Scanning Radiometer) del ERS-2, posee una amplia gama de bandas espectrales en el visible e IR, por lo que también será de utilidad en estos estudios. Sin embargo, lo que resulta especialmente atractivo, es el empleo de imágenes SAR para estudiar la dinámica de la depositación de cenizas, derretimiento de la nieve, aumento del caudal de los ríos, etc., bajo la pluma volcánica. El empleo de técnicas interferométricas para medir variaciones en altura será también de gran utilidad.

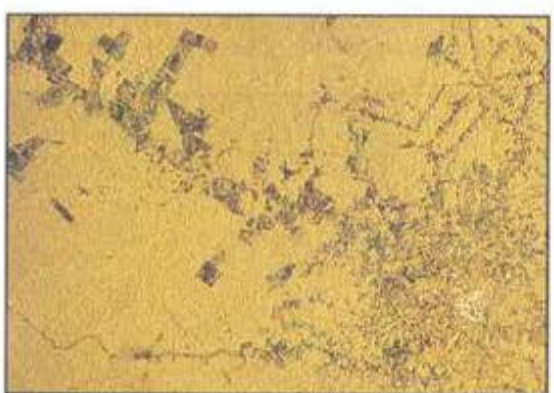


FIGURA 10. DEFORESTACION EN RIO BRANCO, AMAZONIA BRASILERA. Las imágenes ERS-1 del 11 Mayo 1992 (en rojo) y del 15 de Junio 1992 (en verde), permiten detectar cambios en la deforestación, en la parte superior de la imagen. El color amarillo indica estabilidad temporal (sin cambios).

4.2. NAVEGACION AUSTRAL

Según se visualizaba en la Fig. 1, el desprendimiento de témpanos y su seguimiento en todo tiempo, resulta de vital importancia para una navegación más segura. Por otro lado, las imágenes SAR son muy sensibles a condiciones batimétricas y de corrientes superficiales (Fig. 14), como así al oleaje superficial. El empleo combinado de imágenes SAR, dispersómetro de vientos y altímetro de radar, permite realizar interesantes estimaciones de altura de olas y velocidad de vientos (Fig. 15), de gran utilidad para la navegación y estudios oceanográficos.

5. CONCLUSIONES

La información entregada durante estos años por los diversos instrumentos a bordo del ERS-1, demuestran que esta tecnología puede ser considerada para fines operacionales. La misión conjunta ERS-1/2 traerá también importantes resultados

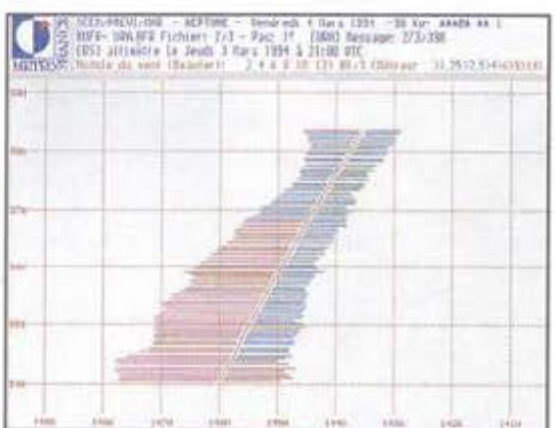


FIGURA 15. ESTIMACION DE VELOCIDAD DEL VIENTO (mitad izquierda) y ALTURA DE OLAS (mitad derecha), estimadas con el Altímetro Radar del ERS-1, a lo largo de su trayectoria (diagonal central). Los colores están asociados a diferentes valores (Fuente: ESA; cortesía METEO-France).

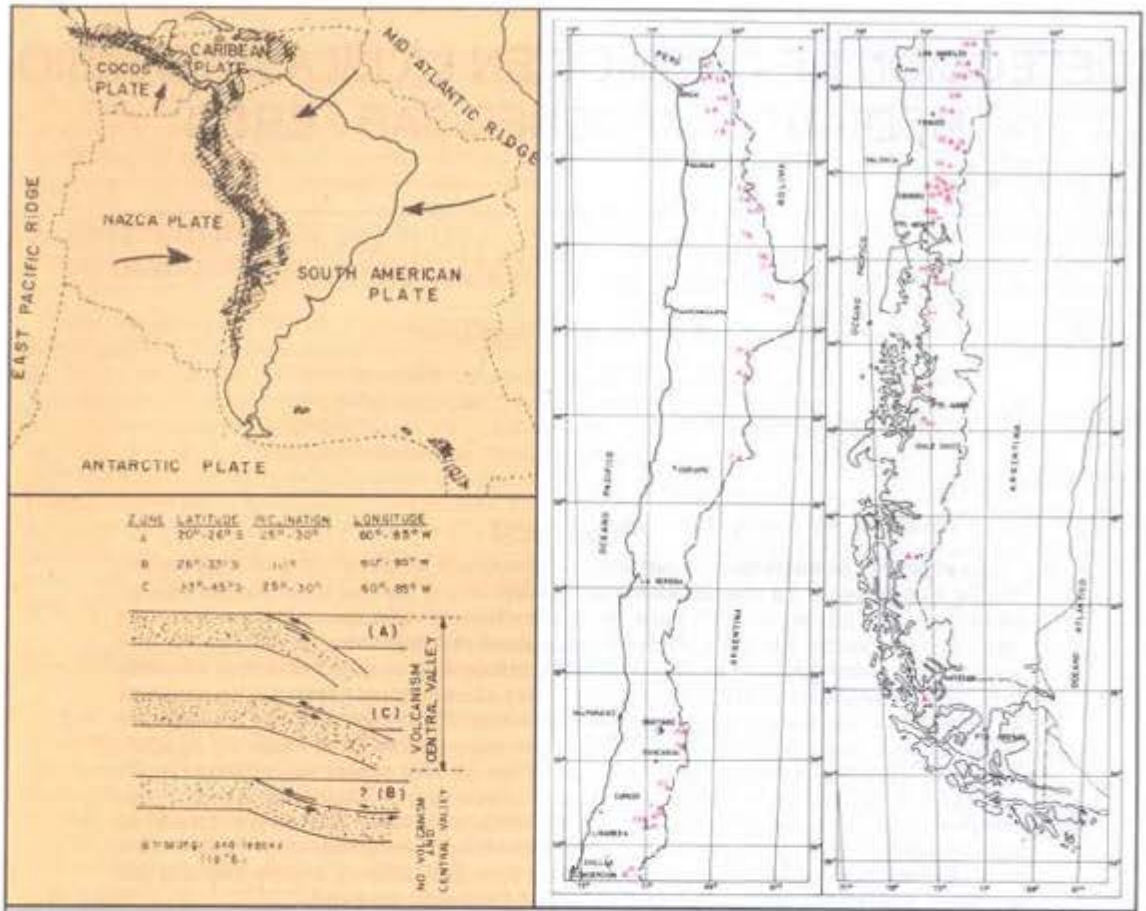


FIGURA 12. DISTRIBUCION VOLCANICA SUPERFICIAL Y SU RELACION CON PLACAS TECTONICAS.
(O. González-Ferrán; Darazangi e Isacks; M. Pardo, A. Lahsen y M. Araya).

en interferometría y seguimiento de fenómenos muy dinámicos, dada la separación de 1 día en la adquisición de datos, lo que resulta ideal para control de inundaciones, nevazones, etc. Sería de gran utilidad complementar el vacío existente actualmente entre las Estaciones ERS de Cotopaxi (Ecuador), Cuiabá (Brasil) y O'Higgins (Antártica), para cubrir latitudes intermedias en Chile y Argentina, facilitando así el mejoramiento o desarrollo de programas operacionales ya en marcha o programados para un futuro próximo. La cooperación internacional y la complementación de datos ERS-1/2 con otra información satelital (LANDSAT, NOAA, METEOSAT, SPOT, MOMS, RADARSAT), serán siempre de vital importancia.

BIBLIOGRAFIA

M. PEÑA, 1995. **Estado y Perspectivas de las Misiones ERS.** *Revista SELPER, Vol. 11, No 1-2, Junio 1995, pp. 10-16.*

K. REINIGER, 1995. **Segmento Terrestre para las Misiones ERS en la Antártica.** *Revista SELPER, Vol. 11, No 1-2, Junio 1995, pp. 17-22.*

M. ARAYA F., A. MAZZEI F., A. SEPULVEDA y J. TAPIA C., 1990. **Potencialidad Operativa y Científica de la Estación Antártica ERS/VLBI Base O'Higgins.** *Revista SELPER, Vol. 6, No 3, Septiembre 1990, pp. 47-56.*

M. ARAYA F., 1992. **Basis for a Regional Monitoring Program on Water Resources, Volcanic Activity and Subsequent Natural Disasters along Los Andes Range, South America.** *Revista SELPER, Vol. 8, No 2, Junio 1992, pp. 79-86.*

R. PEREIRA DA CUNHA, 1992. **An Introduction to "World Forest Watch": a Global Monitoring Program.** *Revista SELPER, Vol. 8, No 2, Junio 1992.*

PAULO ROBERTO MARTINI, 1992. **Panamazonia Project: An Executive Report.** *Revista SELPER, Vol. 8, No 2, Junio 1992, pp. 26-30.*

H. MEHL, J. BOGECHTEL y Q. LEI, 1994. **First Thematic Results Using MOMS-02 Data and Future Geoscientific Utilization.** *Revista SELPER, Vol. 10, No 1-2, Junio 1994, pp. 33-39.*

M. ARAYA F., A. FARIAS y H. PIÑA, 1993. **Medición de la Variable Cobertura de Nieve y su Aplicación al Estudio del Deshielo en Cuencas Andinas Chilenas.** *VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Santiago, Chile, 1993, pp. 475-493.*

M. ARAYA F. y F. MUÑOZ M., 1987. **Avances en el Modelamiento Estacional y Diario de Caudales de Deshielo en Cuencas Andinas Chilenas.** *II Congreso Latinoamericano de Percepción Remota y VII Reunión Plenaria SELPER, Bogotá, Colombia, 1987.*

M. ARAYA F., 1994. **Use of Satellite Images to Obtain Accurate Snowmelting Runoff Forecasts in Los Andes Range, Chile.** *Advances in Space Research, Vol. 4, No 11, pp. 235-240, Pergamon Press, U.K., 1994.*

M. ARAYA F., M. PARDO y R. PIRACES, 1992. **Main Advances and Needs on the Study of Geothermal Resources in Chile by Using Remote Sensing Techniques.** *ISPRS, Commission VII, Toulouse, Francia, 1992.*

P. AGEVEDO y A. LLANCAQUEO, 1994. **Descripción de Plumas Volcánicas desde Datos NOAA-AVHRR.** *Revista SELPER, Vol. 10, No 1-2, Junio 1994, pp. 19-22.*

H. ROTT, H. MILLER, K. STURM y W. RACK, 1993. **Application of ERS-1/SAR Data and Scatterometer Data for Studies of the Antarctic Sheet.** *Proceedings Second ERS-1 Symposium, Hamburgo, Alemania, 1993, pp. 133-139.*

DETECCION DE CAMBIOS EN LA ISLA MARAMBIO MEDIANTE IMAGENES SAR / ERS-1

M. Raed

Univ. Nacional de Luján, Dept. de Cs. Básicas (PRODITEL)
Fax: 54 323 23-975; Ruta 5 y 7, (6700) Buenos Aires, Argentina

L. A. Frulla, D. A. Gagliardini

Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones
y Compatibilidad Electromagnética (CAERCEM-CONICET)
Julián Alvarez 1218, Tel. 54 1 772-1471- Fax. 54 1 776-0410
(1414) Buenos Aires, Argentina - e-mail: laura@.caerce.edu.ar

Resumen

La superficie terrestre tiene un significativo porcentaje de cubrimiento de hielo (ya sea marino o continental). La máxima extensión de hielo ocurre durante los inviernos locales, períodos en los que la radiación solar es muy limitada. En esta época los sensores que operan en las bandas visibles e infrarrojas no pueden registrar datos de utilidad. Por otra parte, en los veranos locales es más común la existencia de un gran porcentaje de nubes y niebla (en mayor medida en la parte marina). Todos estos factores hacen que los sensores que operan en las microondas sean particularmente útiles para estudios en regiones cubiertas por hielo. En el presente trabajo es de especial interés el Radar de Apertura Sintética SAR a bordo del satélite ERS-1 puesto que en éste sensor se combinan la alta resolución espacial con la independencia que ofrece con el estado del tiempo y las condiciones de luminosidad. El objetivo de este trabajo consiste en analizar la actuación de algunos algoritmos de detección de cambios en regiones polares utilizando datos SAR. Para esta oportunidad se utilizaron dos subimágenes (una de Octubre y otra de Febrero) que contienen a la Isla Marambio, situada al Este de la Península Antártica.

Los nombres geográficos utilizados por los autores no corresponden necesariamente a la toponimia oficial empleada en la República de Chile.

1. INTRODUCCION

La nueva generación de sensores de tipo SAR se caracteriza por realzar la calidad de las imágenes obtenidas (en particular por la mejora de la estabilidad y confiabilidad en la calibración de los datos) y por el significativo crecimiento del volumen de datos obtenidos. Como consecuencia de esto, es necesario disponer de procedimientos automáticos de detección de cambios para aplicarlos a este tipo de datos, que puedan auxiliar a los intérpretes y se relacionen los valores de los cambios calculados con los cambios reales producidos sobre la superficie terrestre.

La detección de cambios es un método útil para proveer información sobre cambios estacionales u otros cambios. En la actualidad existen diferentes metodologías algunas de ellas son complementarias y muy útiles para ciertos estudios.

La detección de cambios realizada con imágenes satelitarias no es una tarea que se pueda realizar de manera exacta. La calidad de los resultados obtenidos es diferente a aquella correspondiente a las interpretaciones realizadas por expertos a partir de los trabajos de campo. Sin embargo, dado que éstos representan una actividad agotadora y costosa, la utilización de imágenes satelitarias representa una muy buena alternativa de trabajo para ser complementada con la observación del terreno.

En general los métodos de detección de cambios pueden dividirse en diferentes categorías, y cada una corresponde a los diferentes requerimientos de la calidad de la imagen. En una primera categoría los cambios pueden ser detectados mediante un rastreo temporal de los objetos o de las características estables en la imagen tales como formas geométricas reconocibles. En estos casos no es necesaria una calibración absoluta de los datos, pero sí las imágenes deben estar registradas. En una segunda categoría los cambios pueden ser detectados en las diferencias temporales de los valores registrados. El requerimiento en este caso es la exactitud de la calibración de los datos y por supuesto la registración de imágenes. Finalmente las técnicas de detección de cambios pueden ser aplicadas a datos registrados por diferentes sensores. En este caso es indispensable la registración y en el proceso de remuestreo se debe elegir un valor de resolución espacial común a todos los sensores. Si además de una comparación espacial entre imágenes, se realiza la cuantificación del cambio, es necesaria la unificación de las magnitudes. Es decir, como consecuencia de los diferentes rangos dinámicos, todos los valores de las imágenes deben estar representados por la misma magnitud física para establecer la comparación.

Algunas técnicas de detección de cambios fueron previamente desarrolladas por otros investigadores y aplicadas a información LANDSAT. En el presente trabajo se

aplican algunas de estas técnicas a información ERS-1/SAR. Para el procesamiento se utilizaron dos subimágenes (una de Octubre y otra de Febrero) que contienen a la Isla Marambio. En esta etapa preliminar del trabajo se analizaron cambios mediante diferencia de imágenes, clasificación no-supervisada por ISODATA, superposición de imágenes.

2. ANTECEDENTES DE METODOS DE DETECCION DE CAMBIOS

Son muchos los métodos desarrollados para la detección de cambios hasta el presente y muy vasta la bibliografía. Dentro de los más utilizados se pueden mencionar: diferencia de imágenes, cocientes de imágenes, comparación de clasificación de imágenes y superposición de imágenes (Howarth y Wickware, 1981; Jensen, 1981; Jensen y Toll, 1982). A continuación serán discutidos, de manera muy sintética, los métodos mencionados. Es importante considerar que, previo a la aplicación de cualquiera de estos métodos, todas las imágenes disponibles deben ser registradas para establecer la comparación pixel-a-pixel.

2.1. Diferencia de imágenes

Este proceso consiste en realizar la diferencia entre dos imágenes correspondientes a diferentes fechas. El resultado de la diferencia consiste en valores positivos y negativos, en áreas en las que hubo cambios, y cero en áreas en las que no los hubo. Debido a la conversión de 8-bits, los valores varían entre 0 y 255 y su distribución es aproximadamente gaussiana. De este modo, para los pixeles que no sufrieron cambios, sus valores se distribuyen alrededor de la media de la gaussiana, en cambio aquellos pixeles que sí sufrieron modificaciones se distribuyen preferencialmente hacia los extremos de la distribución (Royal, 1980).

2.2. Cociente de imágenes

Los cambios producidos en las condiciones de observación (por ejemplo sombras) debilitan la habilidad de un método clasificador para identificar los patrones correctamente. Estos cocientes son muy aptos cuando se utilizan una gran variedad de fechas en el análisis porque mediante este método se reduce el efecto del medio ambiente y factores multiplicativos propios del sistema con el que fueron obtenidos los datos crudos o los posteriormente calibrados. En este caso básicamente, los pixeles que no sufrieron cambios entre dos fechas, generan valores de cociente próximos a 1, y aquellos sometidos a cambios tendrán valores mayores o menores que 1. Análogamente al método anterior, pixeles sin cambios generan valores alrededor de la media de la distribución (aproximadamente gaussiana) y pixeles con cambios se distribuyen sobre los extremos (Friedman, 1978).

2.3. Comparación de clasificación de imágenes

Existen distintas alternativas para realizar la clasificación, dos de ellas son las siguientes:

- **Clasificación espacial.** En este método se clasifican las imágenes de diferentes fechas separadamente. Es decir, se asigna el número de clases a la única banda existente y el algoritmo realiza la búsqueda de éstas sólo espacialmente. De este modo las distancias obtenidas para la evaluación están referidas a la separación espacial entre las distintas clases identificadas. La evaluación del cambio se realiza en la etapa de postclasificación en la que se comparan las distancias espaciales resultantes de cada clasificación llevada a cabo en las imágenes correspondientes a diferentes fechas (Stow et al., 1980).
- **Clasificación espectral.** Es el método de clasificación tradicional, en que la identificación de la clase no sólo se hace de manera espacial sino también espectral. Dado que las imágenes SAR tienen una sola banda, en este caso las distintas bandas utilizadas para realizar la clasificación están compuestas por las imágenes de las distintas fechas disponibles. La evaluación del cambio está dada directamente por las distancias espectrales entre clases. Aquellas sometidas a cambios tendrán una estadística significativamente diferente a las clases que no hayan sufrido modificaciones temporales (Weismiller et al., 1977).

Tabla 1. Distancias entre clases (en cuentas) obtenidas para la clasificación espacial por ISODATA de cada imagen por separado. (a) Febrero; (b) Octubre.

(a)

	agua + hielo	suelo tipo 1	suelo tipo 2
agua + hielo	0	194	277
suelo tipo 1	194	0	83
suelo tipo 2	277	83	0

(b)

	hielo	agua	suelo tipo 1	suelo tipo 2	granizo tipo 1	granizo tipo 2
hielo	0	165	129	220	104	83
agua	165	0	36	55	61	82
suelo tipo 1	129	36	0	91	25	46
suelo tipo 2	220	55	91	0	116	137
granizo tipo 1	104	61	25	116	0	21
granizo tipo 2	83	82	46	137	21	0

2.4. Superposición de imágenes

Este método permite una interpretación visual del cambio. Para ello se construye una imagen multi-banda, en la cual cada banda corresponde a una fecha diferente. De este modo se almacena una fecha en el azul, otra en el verde y otra en el rojo y esta imagen resultante se la visualiza en un monitor color. De este modo los cambios están dados por las diferencias en las tonalidades observadas. En particular las áreas que no sufrieron cambios se visualizan en tonalidades de gris, y cualquier área sometida a cambios está realzada por el color que le corresponda (Banner y Lynham, 1981; Howarth y Boasson, 1983).

3. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La Isla Marambio está situada al noreste de la Península Antártica a 64° 14' S de latitud y 56° 43' W de longitud y comparte esta región con pequeñas islas que la rodean.

Entre las más grandes se cita a la Isla Cerro Nevado, que se halla al Oeste de Marambio (Figura 1). Dado el medio ambiente antártico que la rodea, la Isla se caracteriza por tener un clima frío. Se observa además una superficie pedregosa, con formas redondeadas, debidas a erosión glaciaria. La superficie terrestre se halla congelada y la profundidad que alcanza dicho estado está por debajo de 1 m (permafrost) todo el año y puede alcanzar una profundidad de hasta 200 m. El descongelamiento en general se produce por efecto del sol y del viento.

4. PREPROCESAMIENTO DE LA IMAGEN SAR PARA MEJORAR LA DETECCION DE CAMBIOS

Como es de conocimiento general el SAR es un sistema activo que ilumina un área bajo diferentes ángulos de observación, distintos esquemas de polarización y seleccionadas longitudes de onda. En particular el SAR, a bordo del ERS-1, opera en la banda C del espectro y con polarización VV. La amplitud de la radiación retrodispersada depende básicamente de las características del terreno (rugosidad y pendiente, entre otras). Las imágenes SAR muestran un gran detalle de la superficie terrestre, sin embargo este detalle se ve enmascarado por una textura granulosa, característica de las imágenes de radar. La causa fundamental de esta textura es la radiación coherente que utilizan los sistemas de radar y es lo que se conoce con el nombre de ruido speckle. Este ruido siempre está presente en la información, con mayor o menor intensidad, dependiendo de las características de homogeneidad que ofrece el terreno. Esto hace que dificulte la identificación y jerarquización de los patrones espaciales de interés en la imagen. Existen dos maneras de reducir su influencia, una mediante el promedio de varias vistas de una misma área, lo que da lugar a las imágenes de múltiple-vista (multi-look). La otra manera es a partir de la aplicación de técnicas de suavizado mediante el uso de filtros especiales que contemplan las características estadísticas del speckle (Lee, 1981; Mastin, 1985).

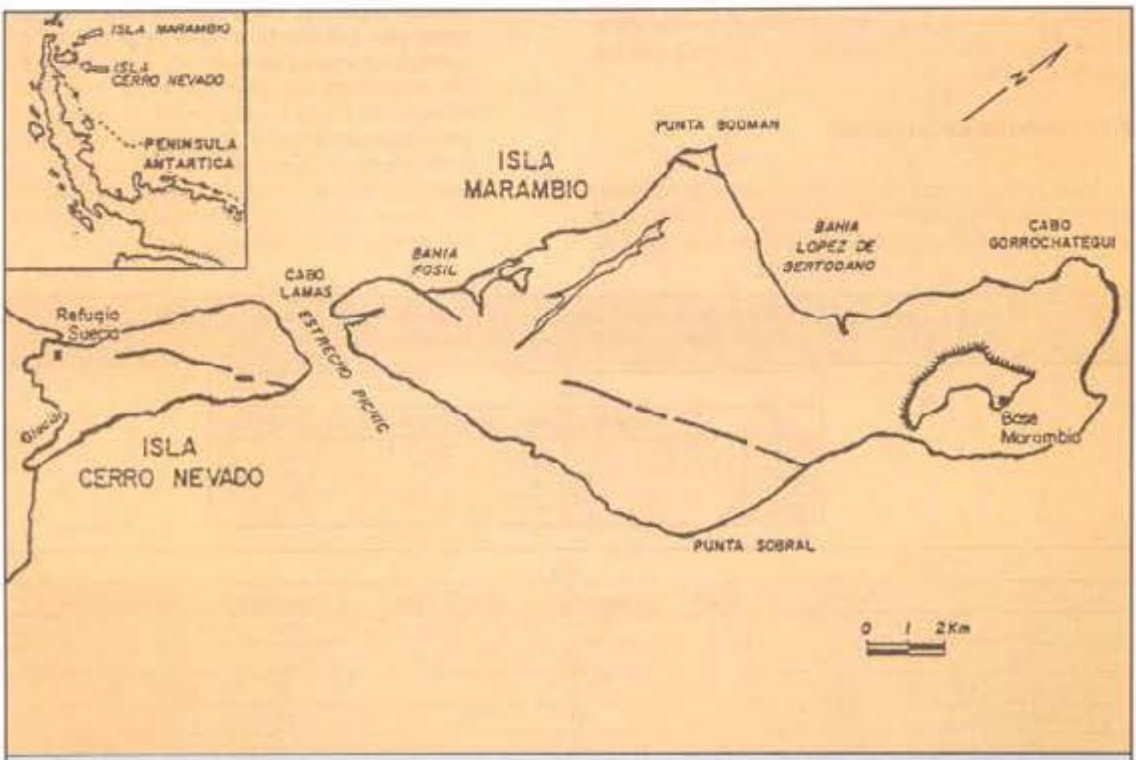


Figura 1. Isla Marambio y su ubicación en la Península Antártica.

Figura 2.
Subimagen ERS-1/SAR - PRI de Febrero que abarca los alrededores de la Isla Marambio.

Figura 3.
Resultado de la aplicación del método de diferencias (imagen de Octubre - imagen de Febrero).

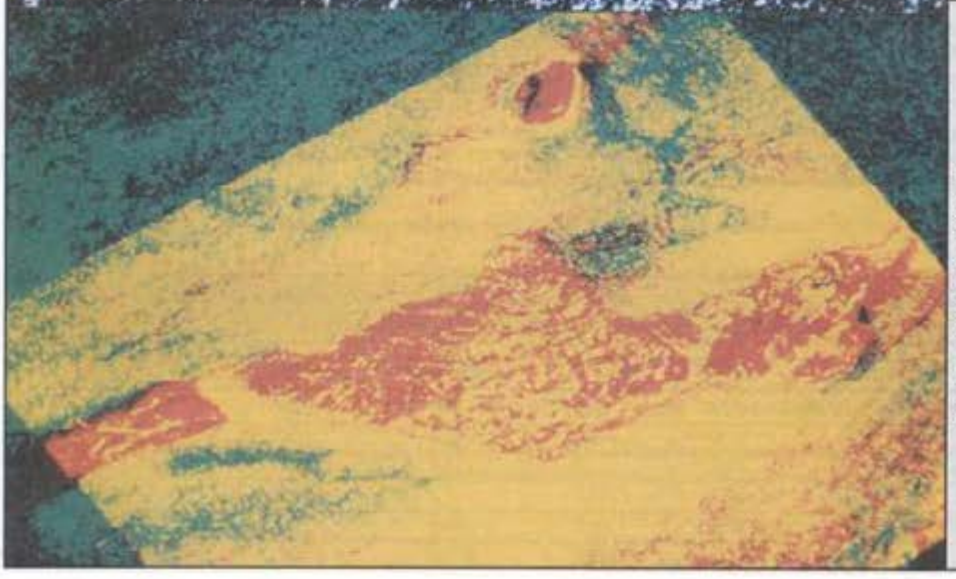


Figura 4.
Resultado de la aplicación del método de superposición de imágenes (banda 1: imagen de Octubre almacenada en el rojo, banda 2: imagen de Febrero almacenada en el verde).

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. Imágenes utilizadas

Se utilizaron para este trabajo dos escenas ERS-1/SAR-PRI registradas en los meses de Febrero (en modo ascendente) y Octubre (en modo descendente) de 1992 que corresponden a las estaciones de verano y primavera para el Hemisferio Sur respectivamente. El producto PRI (imagen de precisión) estándar de la ESA es una imagen obtenida a partir de los datos del SAR y procesados con 3-vistas no solapadas. Esta imagen está proyectada sobre el plano de la tierra y cubre una distancia de 100 km en dirección perpendicular a la trayectoria del satélite y aproximadamente la misma cantidad en Azimut. El producto es de 16 bits remuestreado a un tamaño de pixel de 12.5 m en ambas direcciones. Sin embargo la resolución espacial es menor y queda determinada por los parámetros de procesamiento en rango y Azimut (nominalmente en rango mejor que 33 m y en Azimut mejor que 30 m). En la Figura 2 se muestra la imagen de Febrero en la que se puede observar un importante glaciar en la zona oeste de la Isla Cerro Nevado y muy poco iluminada el resto de esa región. Al norte de la Isla Marambio se puede observar una isla muy pequeña, la Isla Cockburn, que muestra una franja muy iluminada del lado oeste. En la Isla Marambio se resalta de manera muy particular el Cañadón Díaz. Por otra parte se observan diferentes tonos de gris en el agua que rodea las islas. Como consecuencia de los fuertes vientos, se originan diferentes patrones de olas, destacándose que las zonas más oscuras corresponden a aguas quietas o bien que ofrecen una batimetría diferente.

5.2. Pre-procesamiento de las imágenes

Las siguientes dos etapas en el orden indicado son las que conforman el preprocesamiento de las imágenes SAR para utilizarlas en la aplicación de metodologías de detección de cambios.

1) **Reducción del ruido speckle.** A pesar de ser imágenes de 3-vistas, conservan el patrón de speckle. Para su reducción ambas imágenes fueron filtradas con el filtro de Lee multiplicativo presente en el paquete de programas de radar cedido por la ESA. En este caso fue considerada la alta capacidad que tiene este filtro de preservar los bordes. Dado que para la aplicación del filtro son necesarios como parámetros de entrada el tamaño de la ventana y la desviación estándar del ruido, ambos fueron obtenidos de una manera preliminar. El tamaño de la ventana se estimó de acuerdo con el grado de heterogeneidad de la imagen, y la desviación estándar del ruido fue estimada mediante la selección de distintas áreas homogéneas y el cálculo correspondiente del coeficiente de variación para cada una de ellas. El mínimo de los coeficientes de variación calculados fue tomado como el valor de la desviación estándar del speckle.
2) **Registración de imágenes.** Proceso que se realiza para permitir la comparación entre imágenes. En este caso dada la irregularidad que presenta la costa de la Isla, y la falta de rutas o encodamientos, fue muy difícil la selección de los puntos de control. Sólo pudieron ser identificados los puntos más salientes de la Isla en la imagen de Febrero contando así con un conjunto de 8 puntos que sirvieron para registrar la imagen de Octubre respecto de la de Febrero. Se utilizó un polinomio de orden 1 y se obtuvo un error de 4 pixeles en el proceso de remuestreo que fue realizado por el vecino más próximo para preservar lo más posible los valores de la imagen.

5.3. Aplicación de la metodología de detección de cambios

Fue considerado primeramente el método de diferencia de imágenes, realizando la diferencia entre la imagen de Octubre respecto de la de Febrero (Figura 3). En segundo lugar se probó el método de clasificación de imágenes mencionado en el punto 2 mediante el método de clasificación no-supervisada por ISODATA.

Para la clasificación espacial realizada con la imagen de Febrero, el algoritmo pudo identificar sobre la Isla sólo dos clases (dos tipos de suelo que presentan marcadas diferencias) y como tercer elemento de la imagen identificó una mezcla de hielo y agua. Ambos aparecen confundidos en toda la imagen puesto que el hielo es un elemento común a la parte continental y marina. En cambio en la imagen de Octubre, se observa mayor cantidad de clases y el hielo aparece como una clase más debido a que para esta fecha aumenta considerablemente su concentración y distribución (Tabla 1).

Para la clasificación espectral, se almacenó la imagen de Febrero en banda 1 y la de Octubre en banda 2. Los resultados obtenidos en este caso se asemejan a la clasificación espacial de la imagen de Octubre y se sintetizaron en la Tabla 2.

Finalmente para realizar una interpretación visual del cambio se aplicó el método de superposición de imágenes. Para ello se construyó una imagen multi-banda, almacenando la imagen de Octubre en el rojo y la de Febrero en el verde (Figura 4).

Tabla 2. Distancias espectrales entre clases (en cuentas) obtenidas para la clasificación por ISODATA (imagen de Febrero en banda 1 e imagen de Octubre en banda 2).

	hielo	agua	suelo tipo 1	suelo tipo 2	suelo tipo 3	granizo
hielo	0	229	228	329	633	1964
agua	229	0	166	323	668	2032
suelo tipo 1	228	166	0	157	502	1865
suelo tipo 2	329	323	157	0	345	1789
suelo tipo 3	633	668	502	345	0	1364
granizo	1964	2032	1865	1789	1364	0

6. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo, sólo se logró distinguir claramente el cambio que sufre la Isla de Marambio y sus alrededores en cuanto a la cobertura de hielo de primavera a verano. El método de detección de cambios requiere que el analista esté íntimamente relacionado con el conocimiento del lugar, la calidad de los datos y las características de los algoritmos más utilizados en estas metodologías. En relación con el conocimiento del lugar, esto es necesario para facilitar la tarea de interpretación de los resultados. Con respecto a la calidad de los datos, ya era de conocimiento que los datos ERS-1/SAR posibilitan la adquisición de imágenes multitemporales, de alta resolución, con independencia de las condiciones meteorológicas y de iluminación. Esto representa una fuente de datos de gran utilidad para la detección de cambios en regiones polares con aplicaciones inmediatas a la navegación. En relación con el análisis de las características de los algoritmos desarrollados para aplicaciones en detección de cambios en regiones polares, el método de diferencias y el de superposición de imágenes son los más sencillos y los de más fácil interpretación. El método de clasificación, a pesar de ser el que permite cuantificar mejor los cambios, exige más conocimiento del terreno, lo cual limita al analista que no cuenta con apoyo de campo.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento al CAERCEM por la disponibilidad de los equipos y muy especialmente a la colaboración recibida de la Agencia Espacial Europea (ESA) por habernos provisto la información y el paquete de filtros utilizados para el desarrollo del trabajo.

REFERENCIAS

BANNER, A. y LYNHAM, T. (1981): **Multi-temporal analysis of LANDSAT data for forest cutover mapping - A trial of two procedures.** *Proceedings, Seventh Canadian Symposium on Remote Sensing, Winnipeg, Manitoba, 233-240.*

FRIEDMAN, S. Z. (1978): **Use of the ratio threshold classifier in maping urban/nonurban land cover from LANDSAT MSS imagery.** *Master thesis, University of Wisconsin-Madison.*

HOWARTH, P. J. y BOASSON, E. (1983): **LANDSAT digital enhancements for change detection in urban environments.** *Remote Sensing of Environment. Vol. 13, 149-160.*

HOWARTH, P. J. y WICKWARE, G. M. (1981): **Procedures for change detection using LANDSAT digital data.** *International Journal of Remote Sensing, Vol. 2, 277-291.*

JENSEN, J. R. (1981): **Urban change detection mapping using LANDSAT digital data.** *The American Cartographer, Vol 8, 127-147.*

JENSEN, J. R. y TOLL, D. L. (1982): **Detecting residential land-use development at the urban fringe.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 48, 629-643.*

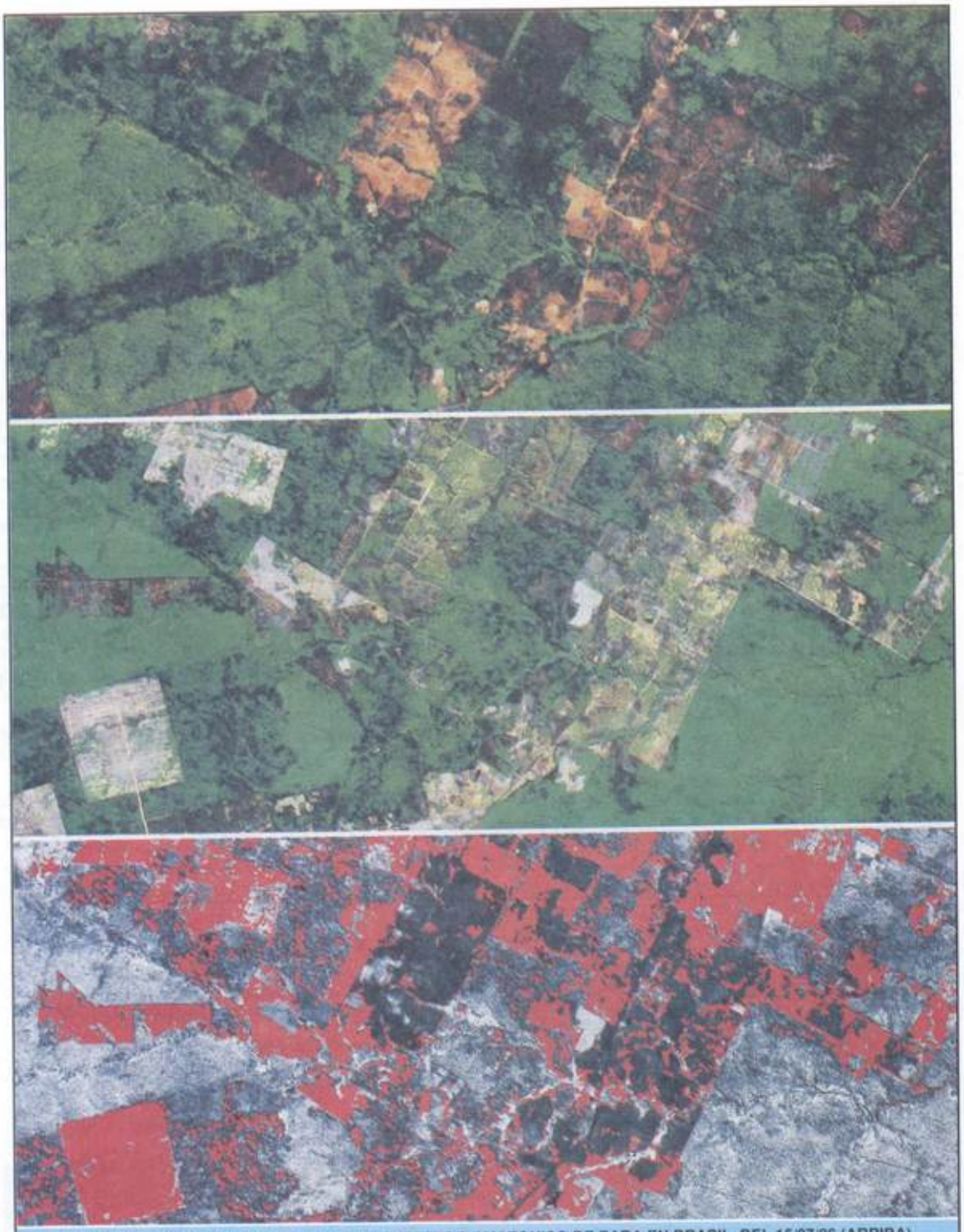
LEE, J-S. (1981): **Speckle analysis and smoothing of synthetic aperture radar images.** *Computer Graphics and Image Processing. Vol. 17, 24-32.*

MASTIN, G A (1985): **Adaptive filters for digital noise smoothing: An evaluation.** *Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 31, 103-121.*

ROYAL, J. A. (1980): **Change detection method development: Census urban area application pilot test.** *Final Report Contract NAS5-35707. Beltsville, Md. General Electric Company.*

STOW, D. A., TINNEY, L. R. y ESTES, J. E. (1980): **Deriving land use land cover change statistics from LANDSAT: A study of prime agricultural land.** *Proceedings 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Mich.: ERIM, 1227-1237.*

WEISMILLER, R. A., KRISTOF, S. J., SCHOLZ, D. K., ANUTA, P. E. y MOMIN, S. A. (1977): **Change detection in coastal environments.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 43, 1533-1539.*



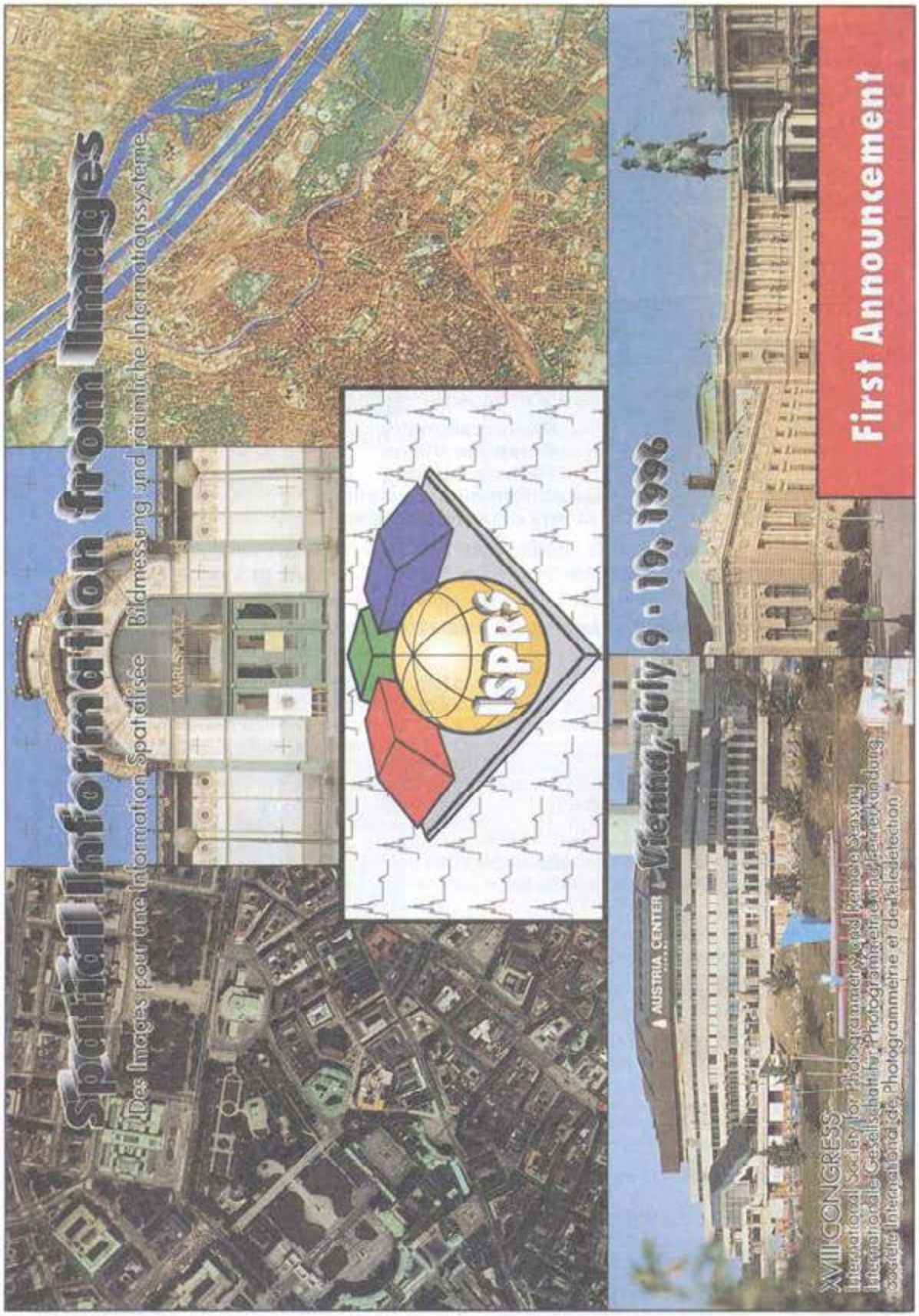
SECTORES DE IMAGENES SPOT SOBRE EL ESTADO AMAZONICO DE PARA EN BRASIL, DEL 15/07/86 (ARRIBA) Y 22/07/89 (CENTRO). LAS ZONAS DEFORESTADAS EN EL PERIODO APARECEN EN ROJO (ABAJO).

cnes

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
2, Place Maurice Quentin. 75039 Paris Cedex 01.
FRANCE. Tel: 45.08.75.68, Fax: 45.08.77.73

SPOT IMAGE
16 bis, avenue Edouard-Belin
31030 Toulouse Cedex - France

SPOT IMAGE



Congress Director: Prof. Dr. Karl Kraus. Gusshausstrasse 27-29. A-1040 Viena. AUSTRIA. Tel.:+43-1-58801/3811. Fax: +43-1-505 92 68.
(Información adicional aparecerá en las próximas publicaciones SELPER)

XVIII ISPRS-Congress Vienna, 9 -19 July 1996

Spatial Information from Images

For its XVIII quadrennial Congress, the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) announces a

Call for Papers

If you are engaged in the fields of

Photogrammetry
Computer Vision
Remote Sensing
Geo-Information Systems
or any other related area

and if you feel your recent work needs presenting to an international audience, then we invite you to prepare a paper for this major ISPRS Congress in Vienna, Austria. For your orientation, the following list shows a rough overview of the topics covered by the conference's ***80 technical sessions, 32 interactive sessions*** and a number of ***inter-disciplinary sessions***:

- Sensors, platforms and imagery
- Photoscanners and quality analysis
- Photogrammetric systems and advances in automation
- Digital image workstations
- Sensor and image orientation
- Integrating GPS into photogrammetry
- Matching and 3-D object restitution
- Scene analysis and machine vision
- Digital elevation models and their applications
- Archaeological, architectural, medical, and other close-range photogrammetry
- Mapping and planning technologies
- Theory, systems and applications of GIS
- 3-D databases and information systems
- Problems of data fusion
- Remote sensing techniques and applications
- Landuse and disaster assessment
- Environmental and global monitoring
- Educational and training matters
- International cooperation, consulting and technology transfer
- Inter-disciplinary topics to AARS, CIPA, IUSM, and OEEPE

All you need to do is write an ***extended abstract*** of 750 words minimum to 1500 words maximum and submit it ***before 16 October 1995***. Please, send your request for the detailed guidelines and forms to the Technical Programme Coordinator by mail, telefax or electronic mail. These forms together with the ***Second Announcement*** contain much useful information. They will be posted to you as quickly as possible.

The Congress Director
Karl Kraus

Note:

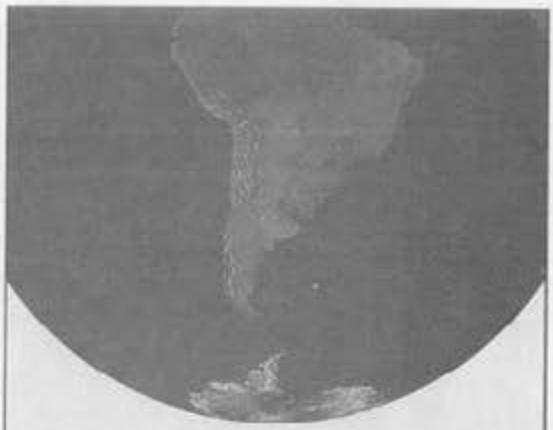
If you have access to the WorldWideWeb, you find regularly updated information about the Congress at the address:

http://www.ipf.tuwien.ac.at/isprs.html

⇨ Request forms and guidelines from:

Peter Waldhaeusl
Technical Programme Coordinator
Vienna University of Technology
Gusshausstrasse 27-29 / 122
A-1040 Vienna, Austria

Tel: +43-1-58801 / 3814
Fax:+43-1-505 6268
Email: isprs96@email.tuwien.ac.at



PROJETO GEOESFERA

SALA DE SITUAÇÃO DA TERRA

Centro de Visitantes do
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

INPE

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Informaciones: Dr. Roberto Pereira Da Cunha
Director Relaciones Internacionales, INPE, Brasil.

DSE

FUNDACION ALEMANA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL

ENTRENAMIENTO EN TELEDETECCION Y EN SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

La Fundación Alemana para el Desarrollo Internacional (DSE), en conjunto con el Centro Alemán de Alimentación y Agricultura (ZEL) están realizando un intenso programa de cooperación para los países en desarrollo. Para 1996 están programados los siguientes cursos:

1) Planificación y Gestión Integral de Recursos Forestales Tropicales (Costa Rica, 22.01 al 23.02, 1996)
2) Planificación para el Manejo sostenible de Recursos Forestales Tropicales (Alemania, 03.09 al 10.10, 1996)
3) Planificación y Alternativas de Producción y Procesamiento de Madera en la Región Andina (Colombia, 11.11 al 08.12, 1996)

MAYORES INFORMACIONES:

Dr. H. Mehl:
AGF - Department for General and Applied Geology, University of Munich, Luisenstr. 37 - 80333, Munich, Germany.

Dr. E. Mies:
German Foundation for International Development (DSE) / Food and Agriculture Development Centre (ZEL).
Leipziger Strasse 15 - 04509 Zschortau/Kreis Delitzch, Germany

APLICACION DE LA TECNOLOGIA SATELITAL EN LOS PROCESOS EDUCATIVOS

22, 23, y 24 de Noviembre de 1995.

ORGANIZA: SECRETARIA PRO TEMPORE de la II Conferencia Espacial de las Américas MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES

PATROCINA:
- OFICINA DEL ESPACIO ULTRATERRESTRE N.U.
- COMITE DE ASUNTOS ESPACIALES FACH
- UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE USACH.

LUGAR: HEMICICLO EX-CAMARA DE DIPUTADOS, MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES

CATEDRAL 1158 - FONO 6952501 ANEXOS 245 - FONO 6984722 (DIRECTO)

SECRETARIA PRO - TEMPORE DE LA II CONFERENCIA ESPACIAL DE LAS AMERICAS. MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES DE CHILE.

SEMINARIO APLICACION DE LA TECNOLOGIA SATELITAL EN LOS PROCESOS EDUCATIVOS

SANTIAGO DE CHILE, 22 AL 24 DE NOVIEMBRE DE 1995

OBJETIVOS:

- Dimensionar el ámbito en el cual se desarrolla la tecnología satelital en los procesos educativos en la comunidad internacional.
- Identificar los aportes que viene realizando la educación a distancia para incorporar los medios tecnológicos satelitales a un proceso de renovación pedagógica.
- Evaluar el impacto de la tecnología satelital en el contexto socio/cultural latinoamericano desde una perspectiva multidisciplinaria.

PARTICIPACION:

Están invitados todos los expertos latinoamericanos relacionados con el tema. Se contará con destacados exponentes de Naciones Unidas, Banco Interamericano de Desarrollo, Universidades Latinoamericanas, Instituciones Espaciales (INPE y otras), Redes Intercom, Hispasat.

INSCRIPCIONES E INFORMACION ADICIONAL:

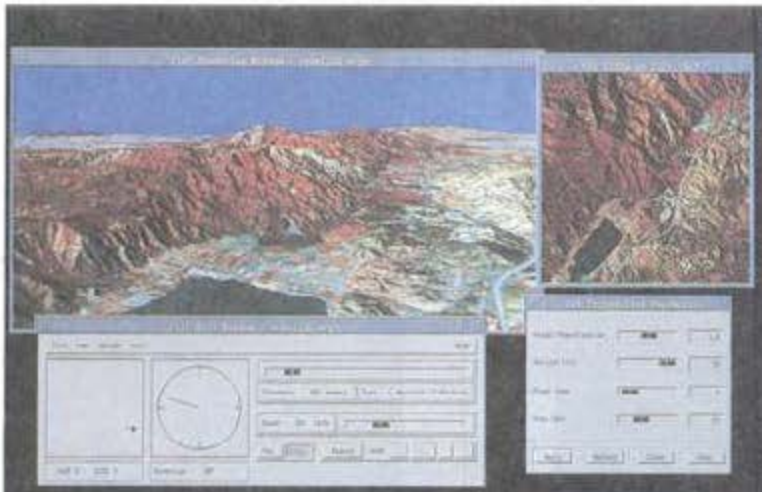
Sr. Abraham Quezada Vergara y Sr. Sergio Villagrán Sepúlveda
Secretaría Pro Tempore
II Conferencia Espacial de las Américas
Ministerio de Relaciones Exteriores
Catedral 1158 • Santiago - Chile
Teléfonos: 6984722 (directo) y 6952501 anexos 245 y 446

MACDONALD DETTWILER

The Systems Engineering Company

Systems for:
Earth Observation, Environmental Monitoring, Resource Management and Geographic Information Management

13800 Commerce Parkway, Richmond, British Columbia, Canada V6V 2J3
Telephone: (604) 278-3411 Fax: (604) 278-2117



PCI

Committed to Remote Sensing

Canada:
PCI
50 West Wilmot Street
Richmond Hill, Ontario, Canada L4B 1M5
Tel.: (416) 764-0614 Fax: (416) 764-9604
Ottawa Region: Ottawa Tel.: (613) 231-6233
Fax: (613) 231-6280
British Columbia: Victoria Tel.: (604) 360-1216
Fax: (604) 360-1208

United States:
PCI Remote Sensing Corp.
1925 N Lynn Street, Suite 803
Arlington, Virginia, USA 22209
Tel.: (703) 243-3700 Fax: (703) 243-3705
U.S. Southeast: Atlanta Tel.: (404) 365-8445
Fax: (404) 365-8847
U.S. Southwest: Tucson Tel.: (602) 745-2499
Fax: (602) 745-1707

For Europe and International, contact PCI Canada.

TERRAIN ANALYSIS PACKAGE: Perspective scene generation, watershed, drainage basin, flow path and volume calculations. Slope, aspect, shaded relief maps. **Showing:** FLY! generates perspective scenes in near real time, allowing the analyst to fly-through their image data.

EASI•PACE

Raster Image Processing Software from PCI

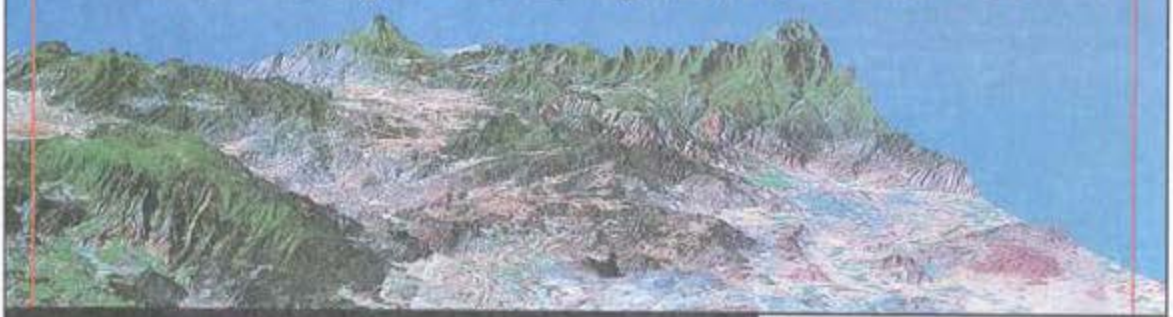


Table 1 - RADARSAT Revisit Frequency

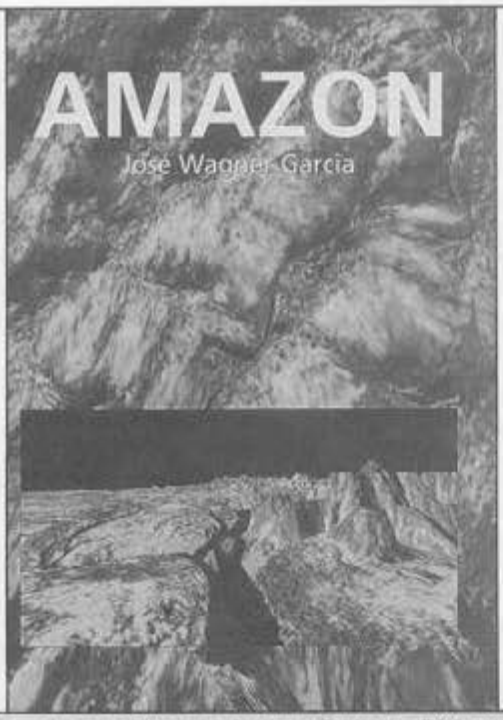
Latitude	Fine	Standard	Wide	ScanSAR
Equator	4	2	4	2
10°	4	2	4	2
20°	4	2	4	2
30°	3	2	3	2
40°	3	2	3	2
50°	3	2	3	2
60°	2	1	2	1
70°	2	1	2	1
80°	1	<1	1	<1

RADAR ANALYSIS PACKAGE: Slant range to ground range conversion, antenna pattern removal, despeckling filters, enhancement, texture analysis. **Showing:** Adaptive filter reduces speckle in radar imagery.

RADARSAT INTERNATIONAL

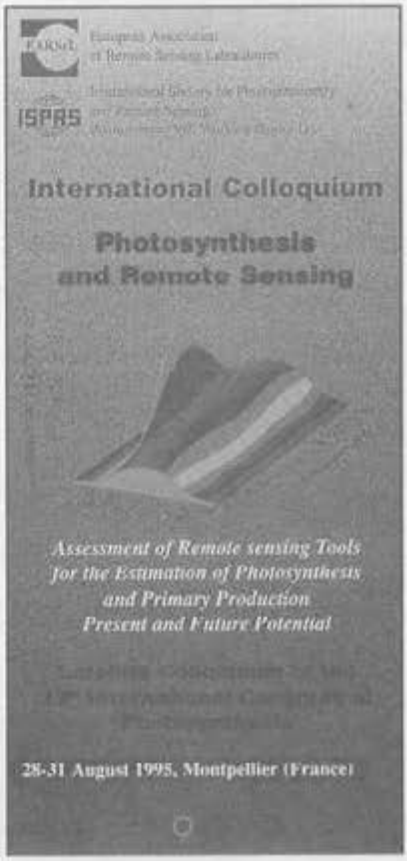
RADARSAT INTERNATIONAL

RADARSAT International Inc.
275 Slater Street, Suite 1203
Ottawa, Ontario
Canada K1P 5H9



Mayores antecedentes sobre este Proyecto, dirigirse al
Dr. Paulo Roberto Martini
(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil)

COLOQUIO ISPRS: Chairman Commission VII, Dr. G. Guyot, INRA (Francia)
Les Portes d'Antigone, 43 Place Vauban. 34000 MONTPELLIER, FRANCE



Second International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition

Technology, Measurement, & Analysis — ***San Francisco, California***

24–27 June 1996

Join us in San Francisco, Everybody's Favorite City, to participate in the premier forum designed specifically to help you capitalize on the advantages of airborne remote sensing and its unique ability to provide a better understanding of our earth. The technical presentations and displays at the Second International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition will highlight current technology and innovations that address critical issues facing the scientific, government, and commercial communities.

Leading-edge airborne remote sensing platforms, equipment, and services will be exhibited concurrently at NASA Ames Research Center's Moffett Federal Airfield in Mountain View, and at the Hyatt Regency San Francisco Airport Hotel. The conference will host over 20 platforms equipped with remote sensing and mapping capabilities, including high-altitude aircraft, aerostats, airships, unmanned airborne vehicles (UAV), remotely piloted vehicles (RPV), helicopters, and an extensive representation of light, medium, and large aircraft.

This second conference in the continuing Airborne series is organized by ERIM in partnership with NASA Ames Research Center and international academic, policy, and research organizations. With experts from more than 30 countries, the technical program will include over 300 plenary and interactive poster presentations and training activities on the latest developments in airborne remote sensing systems and applications. The conference program offers a full complement of hands-on workshops, and guest and hospitality events.

PAPER SUBMISSION

Interested contributors should submit a one-page, single-spaced summary, 300-500 words, by **3 November 1995.** The summary should include the conference topic addressed, the problem explored, methodology used, results, and conclusions. Plenary papers will be selected from the interactive poster papers submitted. State preferred presentation method. The conference Proceedings will be distributed at the meeting.

Summary Due	:	**3 November 1995**
Author Notification	:	**December 1995**
Camera-Ready Paper Due	:	**22 March 1996**
Proceedings Available	:	**24 June 1996**

Direct your summaries and inquiries to:

ERIM/Airborne Conference
P.O. Box 134001
Ann Arbor, MI 48113-4001, USA
Phone: 313 994 1200, ext. 3234
Fax: 313-994-51 23
Internet: wallman@erim.org
WWW URL: http://www.erim.org/CONF/conf.html
Please provide complete mail/delivery address and facsimile number on all correspondence.

ISSSR

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPECTRAL SENSING RESEARCH

26 november - 1 december 1995

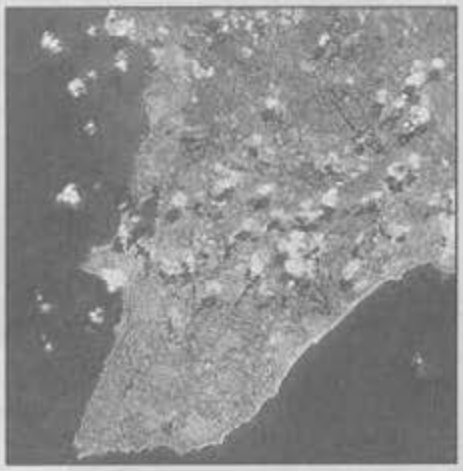
Melbourne, Victoria, Australia

Science and Technology Corporation Meetings Division. Attn.: Judy Cole, ISSSR. 101 Research Drive. Hampton, Virginia 23666-1340. USA. Fax: (804) 865.8721

Para ambos Congresos, dirigirse al Dr. Roberto Pereira Da Cunha (Director Relaciones Internacionales de INPE y SELPER) o la Dra. Thelma Krugg (Coordinadora Nacional SELPER/Brasil):

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Av. Dos Astronautas 1758. Cx. Postal 515
12210 - 970 - São José Dos Campos, SP.
Fax: (55.123) 218.543/229.325
Tel: (55.123) 256.067/256.068/256.000
BRASIL

VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto



Salvador, BA. 14-19 de abril de 1996

ENCONTRO SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A ESTUDOS NO PANTANAL

Corumbá - MS, 09 a 12 de outubro de 1995

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (CPAP) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), vêm desenvolvendo desde 1992 o projeto "Avaliação da Potencialidade de Dados Multiespectrais para Estudo de Áreas Alagadas - Pantanal". Para apresentar os resultados deste projeto, o INPE e EMBRAPA vão promover um ENCONTRO em Corumbá-MS, no período de 9 a 12 de outubro de 1995.

Além de apresentação dessas pesquisas, o ENCONTRO vai dar oportunidade para que a comunidade científica possa apresentar trabalhos desenvolvidos na região do Pantanal que contemplem o uso de sensores remotos.

O tema do ENCONTRO é a utilização de dados de sensoriamento remoto e geoprocessamento em estudos no Pantanal, e envolverá os pesquisadores que vem vem sendo pioneiros no estudo do pantanal, da planície inundável e de áreas maiores de forma de paisagem do Pantanal.

Os trabalhos deverão ser submetidos à comissão técnico-científica do ENCONTRO, na forma de resumo expandido, em máximo em 3 páginas (aproximadamente 1 folha, margens direita 3,0cm, esquerda 1,5cm, superior 3,0cm, inferior 1,5cm), incluindo figuras, gráficos e tabelas (planeja-se apenas reprodução em branco e preto). O resumo expandido deverá ser encaminhado em papel A4 e em disquete com o arquivo gravado em word for windows. Os trabalhos selecionados serão publicados na forma de resumo expandido no anais do ENCONTRO.

COMITÊ ORGANIZADOR

Eng. Marcio Teixeira Barbosa - Diretor do INPE
Dr. Antonio Bruno Ortiz Ortiz - Pesquisador da Embrapa
Dr. Luis Marcelo Tavares de Carvalho - DEPI/INPE
Dr. Mario Cardoso - CNPM/EMBRAPA

COMISSÃO EXECUTIVA

Marcio Antonio Rabelo - INPE/CTE
José Dos Santos Rocha Filho - Embrapa Meio Ambiente
Thelma Krugg - INPE/CTE
José Pereira Filho - CNPM/EMBRAPA

COMISSÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Thelma Krugg - Dr. - INPE
Andrea Pino - Phd - CNPM/EMBRAPA
Carlos Celso do Amaral - Dr. - CNPM/EMBRAPA
José Dos Santos Rocha Filho - Dr. - CNPM/EMBRAPA
José Dos Santos Rocha - Dr. - INPE/CTE
Marcio de Morais Pinheiro - MSc. - INPE
Maria Isabel Sobral Sano - Dr. - Embrapa Cerrados
Maria Regina Mendonça - Phd - INPE

INFORMAÇÕES CONVENIENTES

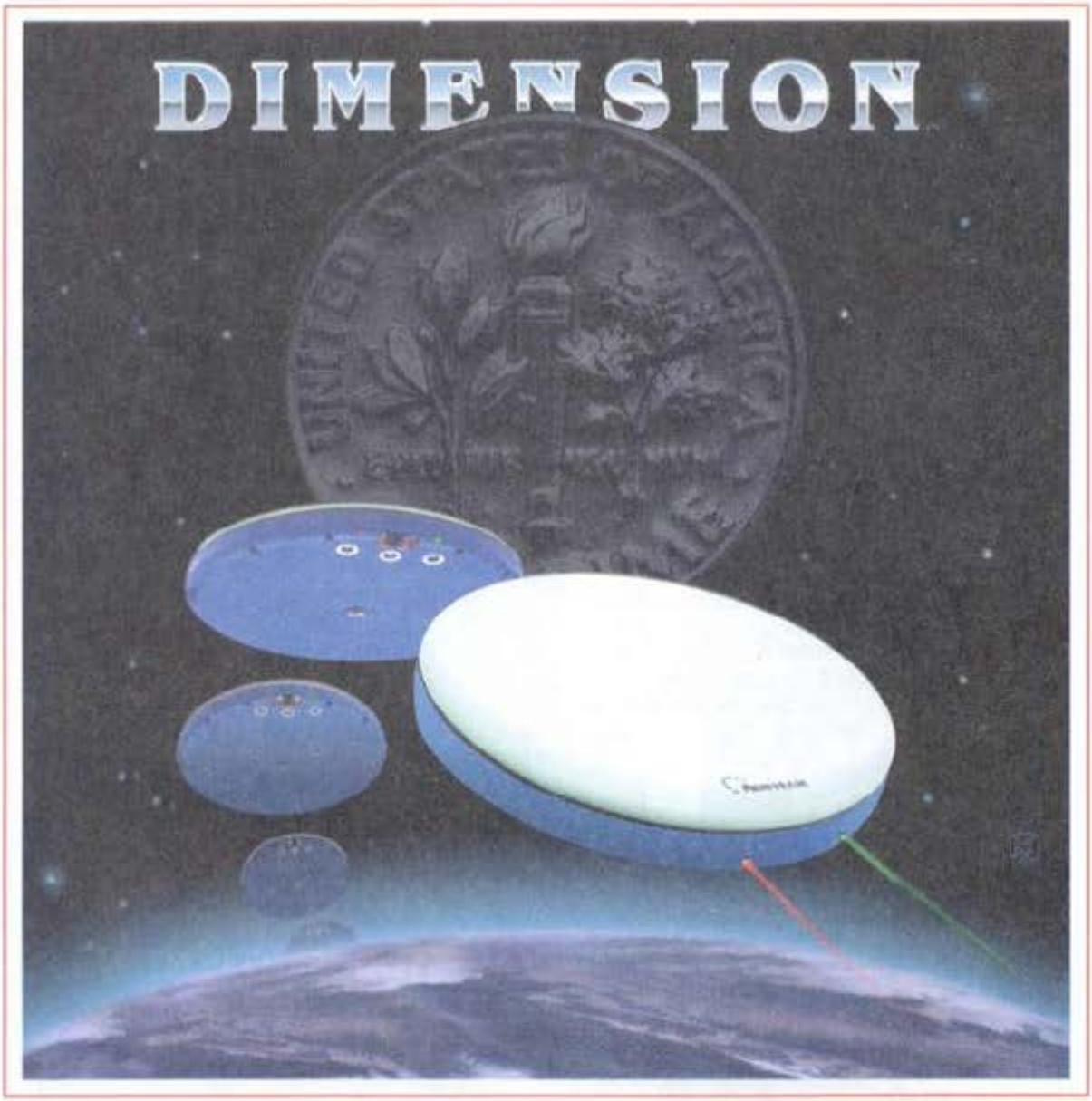
INPE/CTE - Caixa Postal 515 - CEP 12201-970 - São José dos Campos - SP
Tel: (0123) 41-8700 e 41-8800
Fax: (0123) 41-8700 e 41-8800

ORGANIZAÇÃO

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO PANTANAL

APOIO

ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DE CORUMBÁ - MS
GOVERNO DO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL



DIMENSION...el receptor GPS compacto con precision igual a las dimensiones de un centavo

- Nivel de precision de milimetros para mediciones estaticas, cinematicas y seudo-cinematicas
- Nivel de precision de decimetros para aplicaciones estaticas
- Nivel de precision de metros para captura dinamica de datos
- 12 canales de rastreo "Todo en vista"
- Hasta 8 Megabytes de memoria interna
- Compacto (9" de diametro), con carcaza de aluminio sellada a prueba de agua y de alto impacto que protege la antena GPS, el receptor y la memoria interna
- Completamente automatico...luz verde indica si satelites estan siendo monitoreados e informacion almacenada

- Puertos RS-232 para transferencia de datos y comunicacion simultanea, incluyendo GPS diferencial en tiempo real
- Interface con distintas unidades de control opcionales para control y denominacion de atributos (no requerida para la mayoria de las mediciones en terreno)
- Indicador de nivel de carga de la bateria
- Llame a Ashtech para completa informacion acerca de DIMENSION™ asi como tambien de RANGER™ M-XII, CODIGO-P DOBLE y otros receptores GPS Ashtech.

ASHTECH

United States: Ashtech, 1170 Kifer Road, Sunnyvale, CA 94086, Tel: (408) 524-1400 **United States:** Fax: (408) 524-1500
Argentina: Geosistemas SRL, Buenos Aires, Tel: 54-1-342-6580, Fax: 54-1-334-9218 **Brazil:** Georeferencial Ltda., Curitiba, Tel: 55-41-266-7573, Fax: 55-41-266-7444
Mexico: Sistemas de Informacion, Col del Valle C.P., Tel: 525-675-4686, Fax: 525-675-2546 **Chile:** Geocom Ltda.,Santiago, Tel: 562-274-2569, Fax: 562-204-9636

VI²STA software de percepción remota y modelamiento espacial

VI²STA™ es un completo juego de módulos de software de procesamiento de imágenes para percepción remota, creado para satisfacer las necesidades de los profesionales en manejo de recursos naturales, geología y control ambiental.
Con 20 años de experiencia desarrollando y manteniendo software, hardware y sistemas completos de percepción remota, I2S diseñó VI²STA específicamente para lograr el máximo de rendimiento en estaciones de trabajo y computadores de consola basados en UNIX.

X-Windows

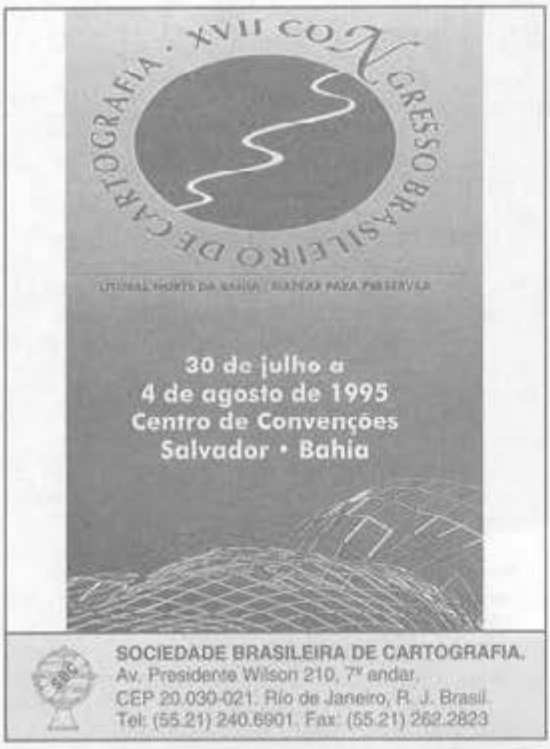
- Trabaja en Sun SPARCStation*, Silicon Graphics*, HP Apollo* y computadores 386/486 teniendo UNIX.
- Dócil despliegue X-Windows/MOTIF con múltiples ventanas de imágenes
- Interface gráfica para el usuario tipo apunte/dispare (point-and-click).
- Trabaja con separadores de bandas de 8 ó 24 bits
- Tamaño de imagen ilimitado con ampliación (zoom) y selección de área (roam) virtual
- Anotación/edición interactiva de información raster/vector superpuesta en imágenes raster

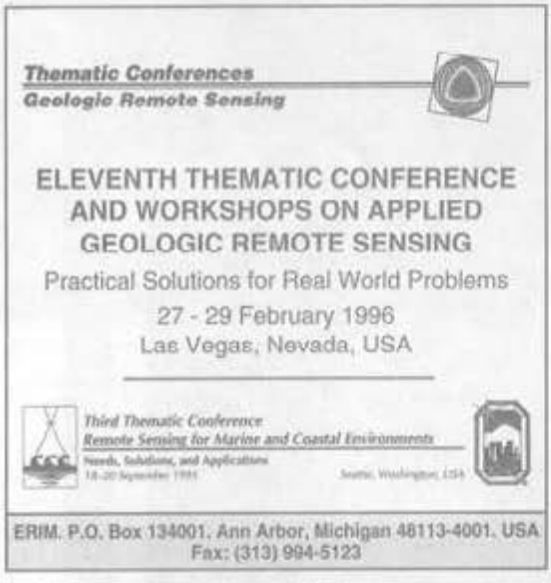
Rasgos Claves

- Incluye formatos comunes de intercambio de datos
- Compatible con un amplio rango de dispositivos de entrada y salida (I/O)
- Sobre 300 funciones (algoritmos) disponibles, incluyendo realce de imágenes, funciones geométricas, clasificación, modelamiento espacial, filtros, manejo de información de vectores, apoyo SIG y presentación de datos
- Conversión raster-vector y vector-raster
- Acepta información satelital en cualquiera de los 26 formatos
- Mantiene 24 tipos de proyecciones de mapas
- Módulo de modelamiento raster SIG
- Completo apoyo al usuario y un año de garantía incluido en el precio de venta

Para mayores detalles, llame o escriba a: International Imaging System, 1500 Buckeye Drive, Milpitas, California 95035, Tel. 408/432-3400, Fax 408/433-0965

*Marcas Registradas de sus respectivas compañías.





El Grupo para el Desarrollo de la Teledetección Aeroespacial (GDTA) y la Pontificia Universidad Católica de Chile, elaboraron un Convenio para publicar los **Cuadernos Pedagógicos del GDTA** en español, traducidos por los Profesores Ricardo Honorato, Carlos Pattillo y Juan Eduardo Lira, de esa Universidad. Los interesados en su adquisición pueden dirigirse a: Prof. Juan Eduardo Lira, Programa de Percepción Remota y SIG, Universidad Católica, Av. Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile. Fax: (56.2) 552.6005

En la fotografía: Sr. Jean-Luc Bessis, Administrador GDTA; Sr. Jean-Pierre Paris, Jefe Cooperación GDTA; Sr. Juan Eduardo Lira, Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC); Sr. Roberto Castro (PUC); Srta. Gina Gio (PUC).

LAND SATELLITE INFORMATION IN THE NEXT DECADE

Vienna, Virginia, U.S.A., September 25 - 28, 1995

SHERATON PREMIERE AT TYSON'S CORNER

Co Sponsors: NASA, USGS, NOAA, ASPRS

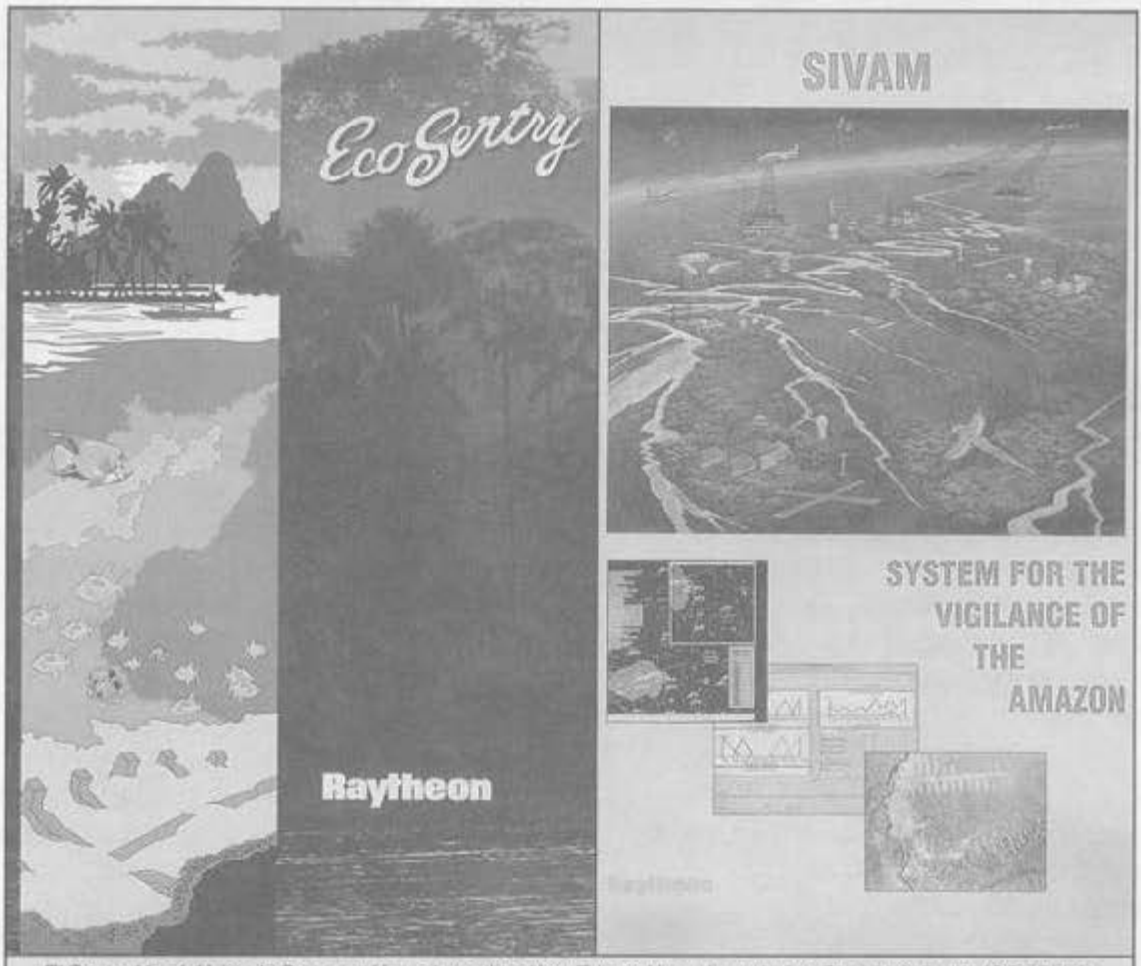
Organized by: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
5410 Grosvenor Lane, Suite 210, Bethesda, Maryland 20814 - 2160, U.S.A.

RADARSAT INTERNATIONAL

RADARSAT International Inc.
Headquarters: 3851 Shell Road, Suite
Richmond, British Columbia
Canada V6X 2W2
Tel: (1-604) 231-4918 / Fax: (1-604) 231-

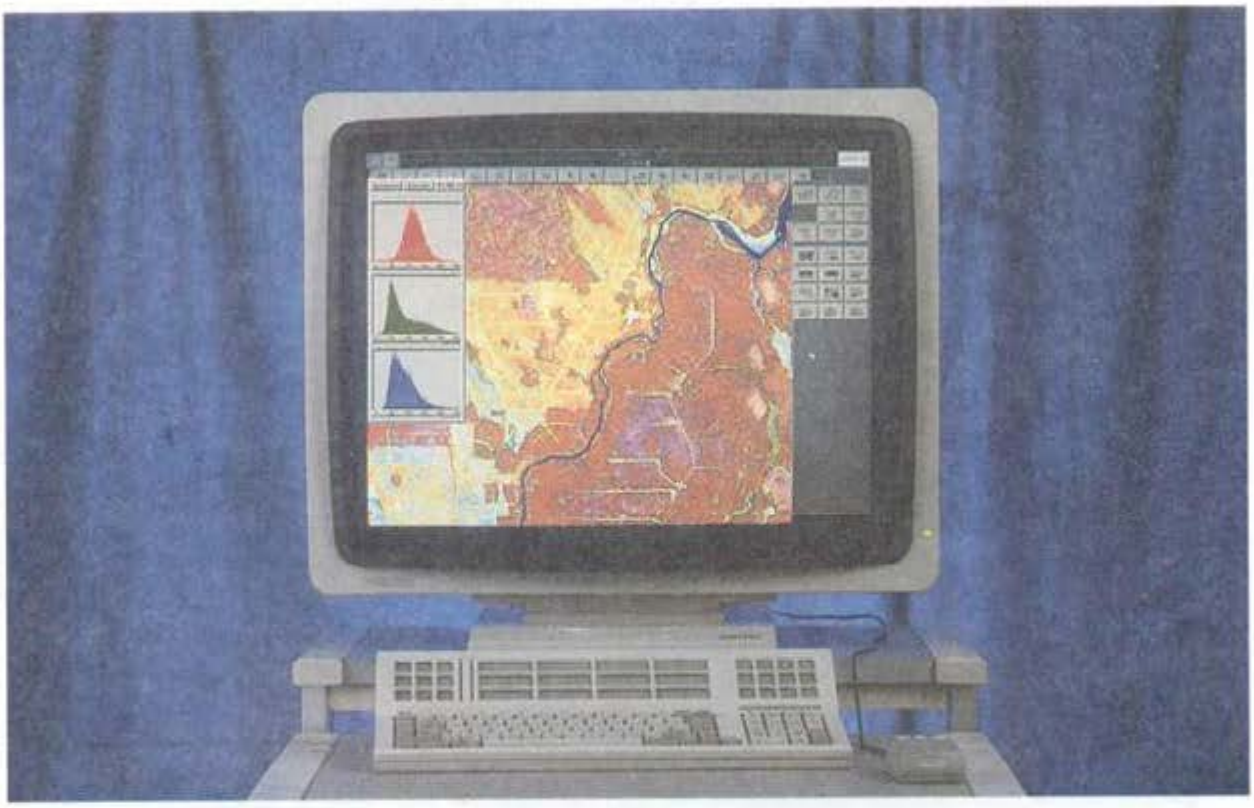
PROXIMO LANZAMIENTO DEL RADARSAT

La Dra. Pamela Welgan, Directora de Ventas para América Latina, ha realizado una segunda gira por nuestro Continente, definiendo ya la Red de Distribución de Imágenes. RADARSAT ha manifestado su interés por colaborar con SELPER a partir del lanzamiento del Satélite, programado para septiembre de 1995. Desde ya nuestros agradecimientos, en particular a la Sra. Pamela Welgan y la Sra. Jane Wark.



El Centro Hemisférico de Cooperación en Investigación y Educación en Ingeniería y Ciencia Aplicada (COHEMIS), de la Universidad de Puerto Rico organizó -con el principal patrocinio de la Empresa de Aplicaciones Ambientales RAYTHEON de Estados Unidos- una ***Conferencia de Cooperación en Percepción Remota y Manejo del Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable de las Américas,*** *realizada en San Juan de Puerto Rico entre el 21 y 22 de Marzo de 1995. Mayores informaciones aparecieron en el* ***Boletín Noticias SELPER de Mayo de 1995.*** *SELPER desea agradecer al COHEMIS y en especial a la empresa RAYTHEON por la gentileza de haber invitado a los Coordinadores Nacionales y Autoridades SELPER a tan importante Conferencia.*

The Perfect Partnership Of High-Performance Imaging And Sophisticated Graphics.



The future belongs to those who define it... and the future of graphics and imaging systems has been defined by Intergraph® and VITec.
Announcing the Intergraph ImageStation 6187™, a new standard for RISC-based workstations that tightly integrates the worlds of sophisticated graphics and high-performance imaging.

ImageStation 6187
The ImageStation 6187 integrates VITec's imaging chip-set with Intergraph's EDGE II™ graphics subsystem establishing a new performance benchmark for graphics and imaging workstations.

For Application Developers and users in GIS, C3I, Medical and Scientific Visualization markets, this means unprecedented processing speeds of 25,000 polygons per second, 300 MOPS (Million Operations Per Second) and 18 MFLOPS on raster image data.

Open Environment
The ImageStation 6187 is fully compatible with all other Intergraph RISC systems, and incorporates available industry standards such as the X Window System™, the UNIX™ Operating System, and leading networking protocols.

For more information—or a look at the future of workstation technology—call Intergraph at 800-826-3515 or 772-2700 in Huntsville, Alabama.

INTERGRAPH
&
VITec
The Imaging Alliance.

Intergraph is a registered trademark and EDGE II is a trademark of Intergraph Corporation. UNIX is a trademark of AT&T Bell Labs. X Window System is a trademark of MIT. Image Data courtesy of SPOT Image Corporation.

INTERA

REMOTE SENSING TECHNOLOGY FOR THE 90'S

Intera provides a wide range of remote sensing technologies from data collection through analysis, including; training, technology transfer, and consulting services.

Specialties include:
- Imaging radar for
  - Geological and Forestry Applications
  - Land Use/Agriculture Mapping
  - Cartographic mapping
  - Training programs
- Radar Simulator for all spaceborne radar platforms including ERS-1 and Radarsat
- Forest Penetrating Radar for profiles beneath dense forest canopy
- Environmental Surveillance (Oil Spills, Floods)
- Environmental Impact Studies
- Weather monitoring and modification
- Geographic Information Systems
- Image Processing systems
- Systems Engineering

For information on these services please contact:

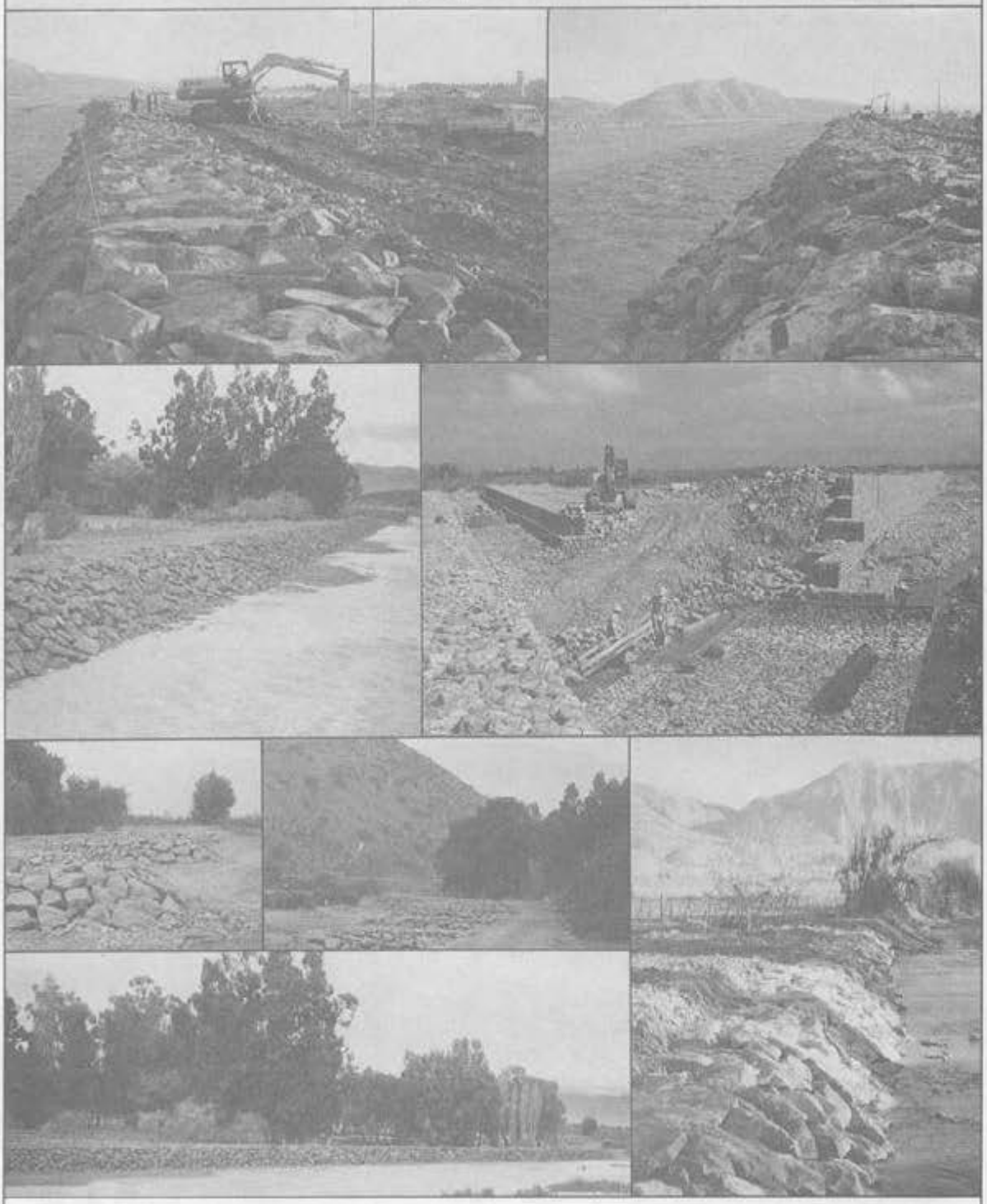
INTERA

Ken Link
Intera Kenting
200, 2 Gurdwara Road
Ottawa, Ontario, CANADA K2E 1A2
tel. (613) 226-5442 fax. (613) 226-5629

José Rodriguez
Intera Technologies
2500, 101 - 6th Avenue S.W.
Calgary, Alberta, CANADA T2P 3P4
tel. (403) 220-0900 fax. (403) 266-0499

EMPRESA CONSTRUCTORA DEL CHOAPA LTDA.

ALDUNATE 1061 SANTIAGO-CHILE - TELEFONOS: 6967583-6987194



DEFENSAS FLUVIALES
OBRAS VIALES

INGENIERIA CIVIL
GEOLOGIA APLICADA

Fotografía: Ernesto Araya Figueroa

GEOINFORMÁNDOSE EN EL ITC!

CLASES MAESTRAS DICTADAS POR EXPERTOS

El ITC ha entrenado más de 10.000 estudiantes de 150 nacionalidades, desde su fundación en 1951. Además se han llevado a cabo trabajos de investigación y asesoría en unos 500 proyectos, en 70 países. Los cursos están organizados en módulos para posibilitar un método multidisciplinario de levantamientos de geoinformática, recursos naturales y ciencias urbanas. Los programas de entrenamiento ofrecen 40 cursos de diversas especializaciones, la mayoría a nivel de Postgrado, Maestría y Doctorado. PhD levels.

El Instituto Internacional para Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias Terrestres (ITC) de Holanda cuenta al presente con unos 420 estudiantes realizando diferentes cursos. Las "Clases maestras" del ITC están dirijidas a profesionales de terminalidad media de los países en desarrollo, que deseen especializarse en diversos aspectos de levantamientos aeroespaciales, aplicaciones de sensoramiento remoto y sistemas de geoinformación.
Con ello se pretende mejorar el entendimiento de las tecnologías más avanzadas, requeridas con urgencia para lograr un desarrollo sostenido de los recursos, planeamiento y manejo ambiental.
Los conocimientos adquiridos por los profesionales son al mismo tiempo un prerequisito para la modernización de las instituciones involucradas en este tipo de trabajos en sus países. El ITC mantiene contactos intensivos con el IGAC/CIAF en Bogotá, Colombia, que es el instituto más importante para aeroespaciales/ SIG en la América del Sur y la América Central.
Los servicios de asesoría del ITC también forman parte de la transferencia de conocimientos. El instituto está involucrado en unos cincuenta proyectos anuales alrededor del mundo.
A través de sus actividades de entrenamiento y servicios de asesoría, el ITC lleva a cabo investigaciones multidisciplinarias, problema-orientadas, dirijidas al levantamiento y monitoreo ambiental.

itc

GEOINFORMACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIDO
en el Instituto Internacional para Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias Terrestres (ITC)

Boulevard 1945, no. 350, Apartado 6,
7500 AA Enschede, Países Bajos.
Tel.: (31) 53-874444, Fax: (31) 53-874400
Telegrama: Aerzur Enschede,
Télex: 44525 itc nl.

DLR

Establecimiento Alemán de Investigación Aeroespacial (DLR)

Area Espacial

Transportadores Espaciales
- Vuelo Hipersónico y Problemas de Reentradas en la Atmósfera
- Tecnologías Orbitales
- Tecnologías de Cohetes

Aplicación de Tecnologías Espaciales
- Comunicación y Técnicas de Localización
- Sistemas de Exploración
- Exploración del Medioambiente
- Ciencia de los Materiales y Ciencias Biológicas

Tareas relacionadas con Misiones Espaciales
- Centros Espaciales
- Sistemas de Control en Tierra
- Proyectos de Misiones Espaciales

Tareas organizativas en el área espacial
- Ejecución de Proyectos vinculados con Ciencias y Técnicas Espaciales
- Otras tareas organizativas en el área espacial

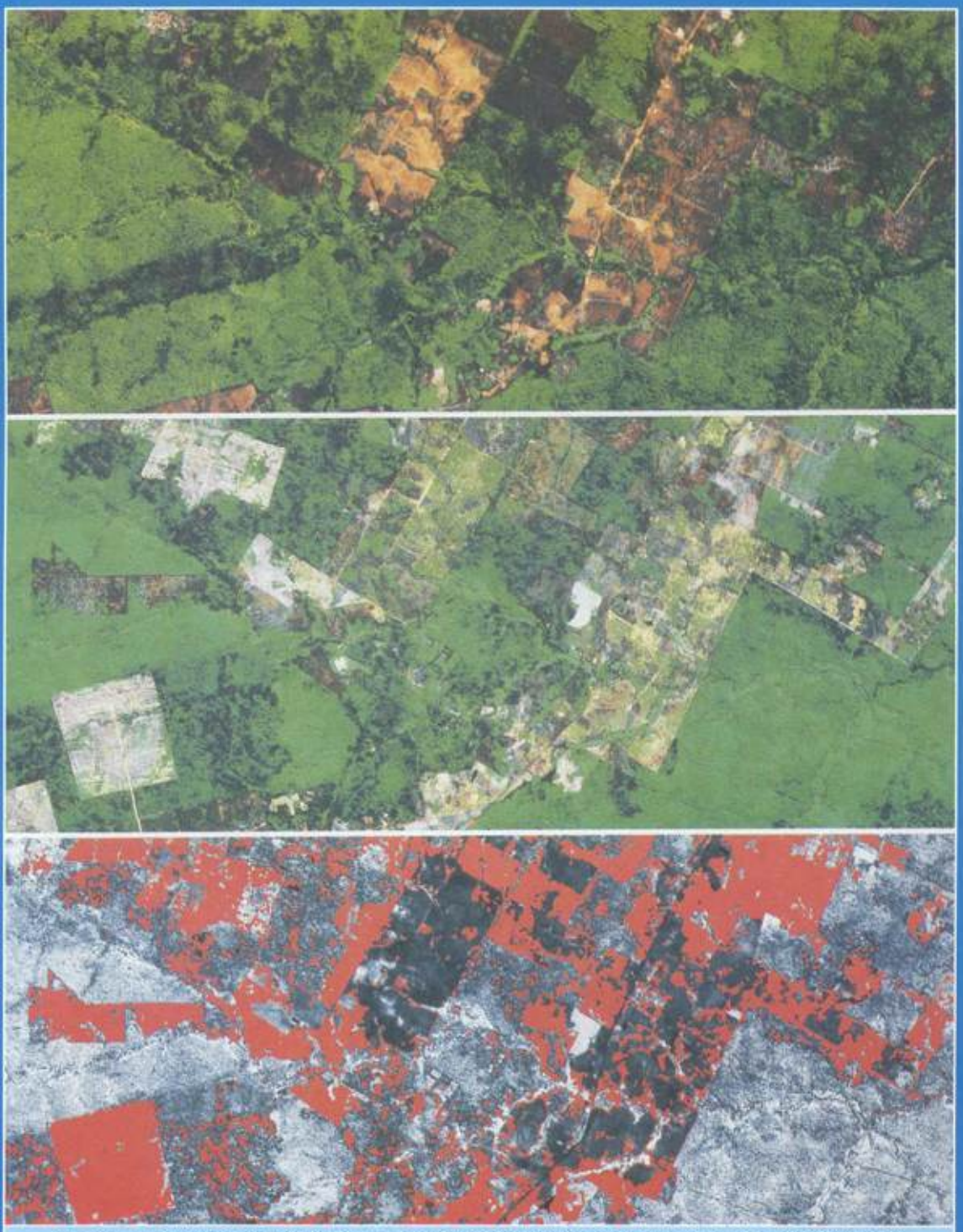
Area Aeronáutica

- Navegación y Seguridad de Vuelo
- Tecnología de Aviación Civil
- Tecnología de Aviones de Combate
- Tecnología de Helicópteros
- Tecnología de Motores a Reacción
- Elementos de Diseño y Simulación

Técnicas Energéticas

- Técnicas de Combustión
- Energía Solar y de Hidrógeno
- Laser de Alta Energía

DEUTSCHE FORSCHUNGSANSTALT FUR LUFT-UND RAUMFAHRT Internationales Büro (DLR-IB), Linder Höhe, D-5000 Köln 90, Deutschland./(DLR) D-8031 Oberpfaffenhofen, Deutschland Telephone (08153) 28897, T-fax (08153) 281343, Tlx 5270287 dadf d



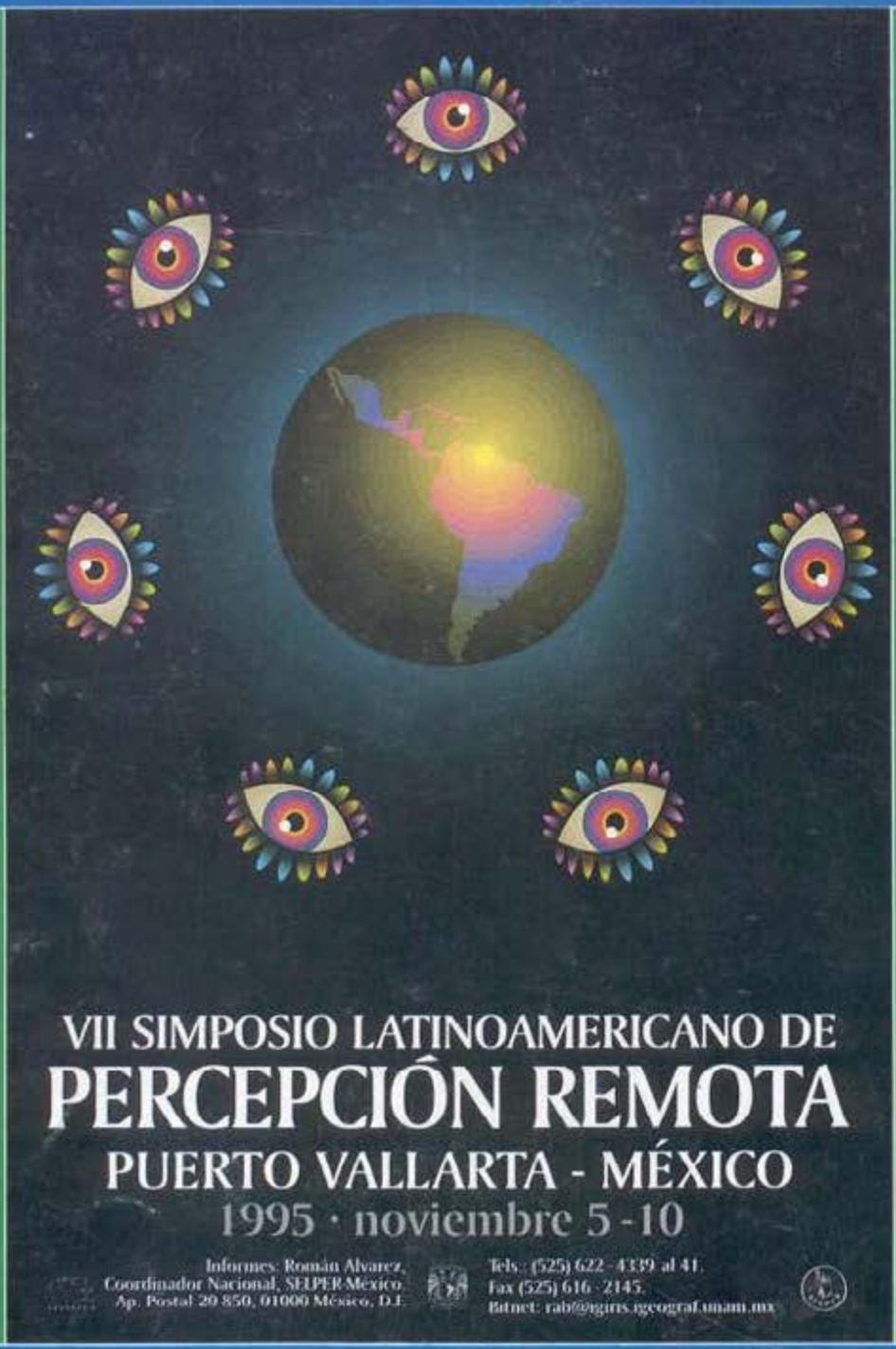
SECTORES DE IMAGENES SPOT SOBRE EL ESTADO AMAZONICO DE PARA EN BRASIL, DEL 15/07/86 (ARRIBA) Y 22/07/89 (CENTRO). LAS ZONAS DEFORESTADAS EN EL PERIODO APARECEN EN ROJO (ABAJO).

cnes

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
2, Place Maurice Quentin. 75039 Paris Cedex 01.
FRANCE. Tel: 45.08.75.68, Fax: 45.08.77.73

SPOT IMAGE
16 bis, avenue Edouard-Belin
31030 Toulouse Cedex - France

SPOT IMAGE



SEDES SELPER

ECUADOR	CHILE	BRASIL	ARGENTINA	PERU	COLOMBIA	MEXICO	VENEZUELA
1980 - 1983	1983 - 1986	1986 - 1989	1989 - 1991	1991 - 1993	1993 - 1995	1995 - 1997	1997 - 1999

VICE PRESIDENTE SELPER
ING. WALTER DANJOY - ARIAS
PRESIDENTE SELPER (1991 - 1993)
ONERN. Apartado Postal 4992
Tel.: (5114) 410825 - Fax: (5114) 414606
Lima, Perú

DIRECTOR EDITORIAL SELPER
PROF. MAURICIO ARAYA-FIGUEROA
Presidente SELPER (1983 - 1986)
Presidente Madero 795 (Ñuñoa), Santiago, Chile.
Tel: (562) 6967583; Tlx: (562) 240501 BOOTH CL;
Fax: (562) 6981474

PRESIDENTE SELPER
DRA. MYRIAM ARDILA T.
Sede SELPER Colombia (1993 - 1995)
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
Carrera 30 Nº 48-51, Bogotá, Colombia
Tel: (571) 268.0106, Fax: (571) 268.0004